



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

“ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LA CAPACIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO EN LOS COLECTORES DE LAS CALLES ARIRUMBA E IMBABURA”

Proyecto de graduación previo a la
obtención del título de Ingeniero Civil

Autoras:

María José Daza Orellana
Paula Andrea Pérez León

Director:

Ing. Diego Idrovo Murillo

Cuenca – Ecuador
2013

Resumen

Este estudio recopila información que se utilizó en 1986 para calcular el coeficiente de escorrentía y el caudal de los colectores de las calles Arirumba e Imbabura en el “Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado del Área Metropolitana de la Ciudad de Cuenca”; información que abarca métodos de cálculo, resultados, planos y fotografías.

A su vez, siguiendo el mismo procediendo de cálculo, se procede a evaluar la capacidad de trabajo a la cual están sometidos los colectores actualmente. El cálculo aborda dos etapas; una de ellas hace referencia a las diferencias del pasado, presente y futuro en cuanto al uso y ocupación del suelo, regidas a las ordenanzas municipales de uso y ocupación de suelo, con esto se obtienen los coeficientes de escorrentía de cada área de estudio de los dos colectores antes mencionados.

La segunda etapa es el análisis del trazado de la red de alcantarillado y las áreas de aporte de cada colector para calcular el caudal actual y su proyección dentro de 25 años. Debido a que el sistema de alcantarillado trabaja como combinado, se realiza el cálculo tanto de las aguas residuales como las pluviales, el primero proporcional a la densidad de la población y a su dotación, y el segundo sujeto al procedimiento del Método Racional Americano.

Finalmente se realiza una breve evaluación física del tramo final de los colectores, por medio de fotografías que permiten visualizar su estado.

PALABRAS CLAVES:

Colector, Arurumba, Imbabura, Coeficiente de escorrentía, Método racional, caudal



Abstract

This project collects information that was used in 1986 to calculate the runoff coefficient and flow collectors of Imbabura and Arirumba streets in the "Master Plan for Water and Sewerage Metropolitan Area Cuenca City"; the information includes calculation methods, results, plans and photographs.

In turn, past results are compared with actual results, proceeding the calculation the same way as was done in the "Master Plan" to evaluate properly the work capacity which is subject to the collectors. The calculation addresses two stages, one of them referred to the differences of the past, present and future in the use and occupation of land, governed by the "Urban Land Municipal Ordinances of the City of Cuenca", with this you get the runoff coefficients of each study area of the aforementioned two collectors.

The second stage is the analysis of the layout of the sewer and areas of contribution of each collector to calculate the current flow and its projection in 25 years. Because the system works as a combined sewage, the calculation is performed the sewage and the stormwater, the first proportional to the density of the population and its envelope, and the second subject to the procedure of the American Rational Method.

Finally there is a brief physical assessment of the final section of the collectors, through photographs that allow the sight of its state.

Contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
Lista de Figuras	8
Lista de Tablas.....	10
Lista de Fotos	12
Anexos.....	13
Dedicatorias	18
Agradecimientos	19
1. INTRODUCCIÓN.....	20
1.1 Antecedentes	20
1.2 Justificación	20
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 Ciclo hidrológico.....	22
2.1.1 Componentes Del Ciclo Hidrológico	23
2.1.2 Impactos de la urbanización en el ciclo hidrológico.....	26
2.2 Precipitación	27
2.2.1 Lluvias	27
2.2.2 Gestión del agua lluvia	28
2.2.3 Elaboración de datos pluviométricos	28
2.2.4 Intensidad de la lluvia	31
2.2.5 Precipitaciones de diseño	32
2.2.6 Áreas tributarias	32
2.3 Infiltración.....	33
2.3.1 Capacidad de Infiltración	34
2.3.2 Proceso de Infiltración	35
2.4 Escorrentía.....	36
2.4.1 Proceso Escorrentía Superficial.....	37
2.4.2 Factores que afectan el proceso de escorrentía	39



2.4.3	Métodos para el cálculo de la esorrentía.....	42
-------	---	----



2.5	Aspectos de diseño de redes de alcantarillado	51
2.5.1	Redes de Alcantarillado	51
2.5.2	Diseño de Colectores	54
2.5.3	Bases de Diseño	56
2.6	Cambios en los usos del suelo.....	59
2.6.1	Introducción histórica de Cuenca.....	60
2.6.2	Crecimiento Poblacional y Urbano de Cuenca.....	60
2.6.3	Usos futuros del suelo	63
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	71
3.1	Evaluación Hidráulica.....	71
3.1.1	Descripción del Área de Estudio	71
3.1.2	Recopilación de la información	73
3.1.3	Estudio Pluviométrico	74
3.1.4	Cálculo del coeficiente de escorrentía	75
3.1.5	Cálculo de Caudales.....	76
3.2	Evaluación Física de los Colectores.....	79
3.2.3	Colector de la Calle Arirumba	79
3.2.4	Colector de la Calle Imbabura	84
4.	RESULTADOS	86
4.1	Coeficiente de escorrentía (C).....	86
4.1.1	Cuenca del colector de la calle Arirumba, año 1985	86
4.1.2	Cuenca del colector de la calle Imbabura, año 1985	88
4.1.3	Cuenca del colector de la calle Arirumba, año 2010	90
4.1.4	Cuenca del colector de la calle Imbabura, año 2010	91
4.2	Variación del coeficiente de escorrentía.....	92
4.3	Evolución de los usos y coberturas del suelo.....	93
4.4	Cálculo del Caudal de Diseño Para Colectores.....	95
4.4.1	Caudal de Aguas Residuales.....	97
4.4.2	Caudal de Aguas Pluviales	102
4.4.3	Caudal de diseño.....	108
4.5	Usos Futuros del Suelo, año 2035	109
4.5.1	Proyección del Coeficiente de Escorrentía año 2035	109



4.5.2	Proyección del Caudal de Diseño de Colectores para 25 años.....	112
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
5.1	Conclusiones	116
5.2	Recomendaciones	117
	Referencias.....	119
	Bibliografía	121

Lista de Figuras

Figura No. 1. El ciclo hidrológico natural.	22
Figura No. 2. Condensación.....	23
Figura No. 3. Precipitación.....	23
Figura No. 4. Evaporación.....	24
Figura No. 5. Infiltración.....	24
Figura No. 6. Movimiento del Agua en una Planta, Durante el Proceso de Transpiración.	25
Figura No. 7. Movimiento del agua en una planta, durante el proceso de transpiración.	25
Figura No. 8. Hidrograma de un pico.	29
Figura No. 9. Hietograma.....	30
Figura No. 10. Curva Intensidad - Duración.	30
Figura No. 11. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia.....	31
Figura No. 12. Ejemplificación de áreas tributarias.....	33
Figura No. 13. Zonas de humedad durante la infiltración.	35
Figura No. 14. Incidencia del crecimiento urbano en la superficie.	39
Figura No. 15. Determinación de la intensidad a partir de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia.....	48
Figura No. 16. Esquema de la Instalación de Alcantarillado.....	52
Figura No. 17. Esquemización de los tipos de redes de alcantarillado.	53
Figura No. 18. Curva del Modelo Logístico de Crecimiento Poblacional	57
Figura No. 19. Ciudad de Cuenca, Sectores de Planeamiento Sur.	64
Figura No. 20. Sector de planeamiento S-1.	65
Figura No. 21. Sector de planeamiento S-2.	66
Figura No. 22. Sector de planeamiento S-6.	67
Figura No. 23. Sector de planeamiento S-21.....	68
Figura No. 24. Sector de planeamiento S-22.....	69
Figura No. 25. Sector de planeamiento S-23.....	70
Figura No. 26. Ubicación de la ciudad de Cuenca.....	71
Figura No. 27. Áreas de Aporte de las Subcuencas de Estudio No. 19 y No. 28.....	72
Figura No. 28. Áreas de Aporte de las Cuencas de Estudio No. 19 y No. 28 en Plano Aerogramétrico del 2010.	72
Figura No. 29. Ubicación de estaciones pluviográficas dentro del Azuay.	74
Figura No. 30. División según tipos de superficie mediante la herramienta AutoCAD 2012.....	76
Figura No. 31. Variación del coeficiente de escorrentía correspondiente a los años 1985 y 2010.	93
Figura No. 32. Evolución de los usos del suelo del área de aporte del colector de la calle Arirumba 1985-2010.	94



Figura No. 33. Evolución de los usos del suelo del área de aporte del colector de la calle Imbabura 1985-2010.....	94
--	----

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de C para diferentes tipos de superficie.....	45
Tabla 2. Velocidades máximas a tubo lleno y coeficientes de rugosidad recomendados.	56
Tabla 3. Características del sector de planeamiento S-1	65
Tabla 4. Características del sector de planeamiento S-2	66
Tabla 5. Características del sector de planeamiento S-6	67
Tabla 6. Características del sector de planeamiento S-21	68
Tabla 7. Características del sector de planeamiento S-22	69
Tabla 8. Características del sector de planeamiento S-23	70
Tabla 9. Datos para la Elaboración de las Curvas IDF, Estación Cuenca Aeropuerto.	75
Tabla 10. Valores de C para diferentes tipos de superficie.....	75
Tabla 11. Áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 1985.....	86
Tabla 12. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 1985.....	87
Tabla 13. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 1985.	87
Tabla 14. Área según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 1985.....	88
Tabla 15. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 1985.....	88
Tabla 16. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 1985.....	89
Tabla 17. Área según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2010.....	90
Tabla 18. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2010.....	90
Tabla 19. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2010.	90
Tabla 20. Área según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2010.....	91
Tabla 21. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2010.....	91
Tabla 22. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2010.....	92
Tabla 23. Áreas tributarias correspondientes al colector de la calle Arirumba.	95
Tabla 24. Áreas tributarias correspondientes al colector de la calle Imbabura.	96
Tabla 25. Tiempos de concentración del colector de la calle Arirumba.	103
Tabla 26. Tiempos de concentración del colector de la calle Imbabura.....	104



Tabla 27. Intensidad para varios periodos de retorno del colector de la calle Arirumba.....	104
Tabla 28. Intensidad para varios periodos de retorno del colector de la calle Imbabura.....	105
Tabla 29. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2010.....	106
Tabla 30. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2010.....	106
Tabla 31. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Arirumba, año 2010.....	107
Tabla 32. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Imbabura, año 2010.....	108
Tabla 33. Caudales totales para varios periodos de retorno, año 2010.....	109
Tabla 34. Áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2035.....	109
Tabla 35. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2035.....	109
Tabla 36. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2035.	110
Tabla 37. Áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2035.....	111
Tabla 38. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2035.....	111
Tabla 39. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2035.....	111
Tabla 40. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2035.....	112
Tabla 41. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2035.....	113
Tabla 42. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Arirumba, año 2035.....	114
Tabla 43. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Imbabura, año 2035.....	115
Tabla 44. Caudales totales para un periodo de retorno de 2 años, año 2035.....	115



Lista de Fotos

Foto. 1. Entrada al colector de la Calle Arirumba.	80
Foto. 2. Pared del colector de la calle Arirumba.	81
Foto. 3. Vista Frontal del colector de la calle Arirumba.	81
Foto. 4. Descarga del colector de la calle Arirumba hacia el Interceptor II.	82
Foto. 5. Estructuras de derivación del colector de la calle Arirumba.	82
Foto. 6. Interior de la Cámara Desarenadora.	83
Foto. 7. Losa superior del colector de la calle Arirumba.	83
Foto. 8. Entrada al colector de la Calle Imbabura.	84
Foto. 9. Estructura de derivación de caudal.	85
Foto. 10. Pared del colector de la calle Imbabura.	85
Foto. 11. Base del colector de la Calle Imbabura.	86

Anexos

- Anexo No. 1 Crecimiento de Cuenca 1910 – 1949.
- Anexo No. 2 Crecimiento de Cuenca 1949 – 1963.
- Anexo No. 3 Crecimiento de Cuenca 1963 – 1974.
- Anexo No. 4 Crecimiento de Cuenca 1974 – 1984.
- Anexo No. 5 Crecimiento de Cuenca 1984 – 1995.
- Anexo No. 6 Plano de Subcuenca Pluvial y Áreas de Igual Impermeabilidad – 2015 en 1986.
- Anexo No. 7 Plano de Tipos de Sistemas de Alcantarillado para la Ciudad de Cuenca en 1986.
- Anexo No. 8 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Cuenca Aeropuerto del Año 2008.
- Anexo No. 9 Plano de Interceptores y Alternativas Existentes para la Ciudad de Cuenca en 1986.
- Anexo No. 10 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 1985.
- Anexo No. 11 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 1985.
- Anexo No. 12 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 2010.
- Anexo No. 13 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 2010.
- Anexo No. 14 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 1985.
- Anexo No. 15 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 1985.
- Anexo No. 16 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 2010.
- Anexo No. 17 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 2010.
- Anexo No. 18 Plano de Proyección Futura de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba.
- Anexo No. 19 Plano de Proyección Futura de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura.
- Anexo No. 20 Plano de Sub-áreas Tributarias y Trazado de la Red de Alcantarillado del Colector de la Calle Arirumba.
- Anexo No. 21 Plano de Sub-áreas Tributarias y Trazado de la Red de Alcantarillado del Colector de la Calle Imbabura.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, MARÍA JOSÉ DAZA ORELLANA, autora de la tesis "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LA CAPACIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO EN LOS COLECTORES DE LAS CALLES ARIRUMBA E IMBABURA EN LA CIUDAD DE CUENCA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 Literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicara afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, octubre de 2013

Maria José Daza

MARÍA JOSÉ DAZA ORELLANA
CI. 010478132-3

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, MARÍA JOSÉ DAZA ORELLANA, autora de la tesis "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LA CAPACIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO EN LOS COLECTORES DE LAS CALLES ARIRUMBA E IMBABURA EN LA CIUDAD DE CUENCA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son exclusiva responsabilidad de sus autoras.

Cuenca, octubre de 2013

María José Daza

MARÍA JOSÉ DAZA ORELLANA
CI. 010478132-3

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, PAULA ANDREA PÉREZ LEÓN, autora de la tesis "ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LA CAPACIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO EN LOS COLECTORES DE LAS CALLES ARIRUMBA E IMBABURA EN LA CIUDAD DE CUENCA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 Literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicara afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, octubre de 2013



PAULA ANDREA PÉREZ LEÓN
CI. 010464396-0

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

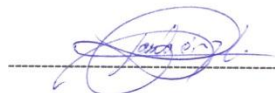


UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, PAULA ANDREA PÉREZ LEÓN, autora de la tesis “ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA Y SU IMPACTO EN LA CAPACIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO EN LOS COLECTORES DE LAS CALLES ARIRUMBA E IMBABURA EN LA CIUDAD DE CUENCA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son exclusiva responsabilidad de sus autoras.

Cuenca, octubre de 2013



PAULA ANDREA PÉREZ LEÓN
CI. 010464396-0

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



Dedicatorias

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

María José

Con gratitud y amor
a los cinco que somos,
a los que formamos un puño,
a mi familia.

Paula



Agradecimientos

A Dios por mostrarnos día a día que con humildad, paciencia y sabiduría, todo es posible.

A nuestros padres y hermanos quienes con su amor, apoyo y comprensión incondicional estuvieron siempre a lo largo de nuestra vida estudiantil; a ellos que siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles y que han sido incentivos de nuestras vidas.

Un profundo agradecimiento para Ing. Diego Idrovo Murillo, director de la tesis, por sus revisiones constantes, por sus valiosas sugerencias y sobre todo por su motivación que ha hecho que esta investigación concluya exitosamente.

A la Empresa Pública ETAPA, por la cordialidad y por habernos facilitado siempre la información necesaria para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

Y finalmente a todo aquel que nos brindó su servicio en la exitosa culminación de nuestra tesis y carrera, no cabe duda que su participación nos ha enriquecido.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Debido al notable crecimiento que la ciudad de Cuenca ha experimentado en las últimas décadas, surge la necesidad de comparar el cambio del uso de suelo y su impacto en el desempeño de la red de alcantarillado.

Tanto para el cálculo hidrológico como para el hidráulico, se tomaron como principal fuente teórica las bases de diseño pertenecientes al “ Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado del Área Metropolitana de la Ciudad de Cuenca en 1986”, con el propósito de que todos los resultados de este trabajo posean la misma metodología que se utilizó en el diseño de 1986, pudiendo ser comparados correctamente.

Las áreas de estudio fueron comparadas con levantamientos aerofotogramétricos del año 1985 y del año 2010, proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar y ETAPA, respectivamente, con el fin de obtener y contrastar los coeficientes de escorrentía del Primer Plan Maestro y los actuales. Adicionalmente, se obtuvieron los planos del trazado de la red de alcantarillado de cada colector para con ellos estudiar el área de aporte y los caudales generados, para de esta manera analizar la capacidad de servicio.

1.2 Justificación

El problema que da origen a la siguiente investigación surge de la necesidad de conocer cómo el proceso de desarrollo urbanístico de la Ciudad de Cuenca, así como los cambios en el uso y en su ocupación, afectan el incremento de los caudales de aguas de escorrentía y su impacto en la capacidad de los colectores.

Es necesario concientizar que estos caudales, pueden ser aprovechados naturalmente por el suelo, aumentando de esta manera el nivel freático del mismo y aportando a que en tiempos de sequía los ríos mantengan su caudal ecológico. Con ello se preservarían los hábitats naturales, la amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos, las funciones ambientales como dilución de contaminantes y la preservación del paisaje.

Esta investigación busca evaluar la capacidad de dos colectores pertenecientes a las calles Arirumba e Imbabura, construidos a mediados de la década de los setenta. Así mismo, el estudio se justifica ya que el resultado que resulte de ésta evaluación, podrá ser utilizado por ETAPA EP., que tiene a su cargo el servicio de alcantarillado de la ciudad de Cuenca.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Verificar la variación de caudales de agua de escorrentía, pertenecientes al diseño de 1986 y al estimado actual, así como validar los coeficientes de escorrentía de dos colectores ubicados en las calles Arirumba e Imbabura, para el diseño de redes de drenaje en zonas urbanas.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1 Revisar los estudios del Plan Maestro del año 1986 para identificar los principales aspectos relacionados a procesos de escorrentía.
- 2 Caracterizar los factores que permiten determinar los coeficientes de escorrentía en la zona.
- 3 Realizar el análisis de variación del cálculo de los caudales de diseño.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ciclo hidrológico

Es el proceso mediante el cual se describe la ubicación, el movimiento y transferencia de agua en la tierra, analizando el paso de sus diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso).

Para describir el ciclo hidrológico natural (Figura No. 1), se tiene que un porcentaje de agua lluvia es almacenada en la superficie del suelo, mientras el resto de la precipitación es interceptada por la vegetación. El agua recogida en el suelo se infiltra, de manera que ésta se satura para producir escorrentía superficial. Posteriormente, parte de la escorrentía superficial formada, se concentra en ríos, lagos y humedales, y el sobrante se infiltra en los acuíferos. Finalmente, el ciclo se completa mediante la vegetación que produce los fenómenos de evapotranspiración y evaporación.

Figura No. 1. El ciclo hidrológico natural.



Fuente: The COMET Program, University Corporation of Atmospheric Research, 2006.

No obstante, el ciclo hidrológico urbano posee muchas diferencias con el ciclo hidrológico natural. Antes de llegar el agua al suelo, realiza un proceso de purificación del aire, recogiendo micropartículas contaminantes, las cuales serán arrastradas posteriormente en el agua; además el suelo no tiene apenas permeabilidad por lo que el agua corre rápidamente por las canaletas y pavimentos.. Así, el agua pluvial limpia el aire, tejados, pavimentos y a su vez arrastra una carga

importante de contaminantes como sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos que terminan llegando a los cursos de agua a través del alcantarillado. Por otro lado, en las zonas urbanas la infiltración disminuye de fuertemente, con lo cual los acuíferos naturales situados bajo las ciudades quedan aislados

2.1.1 Componentes Del Ciclo Hidrológico

Condensación

Figura No. 2. Condensación.

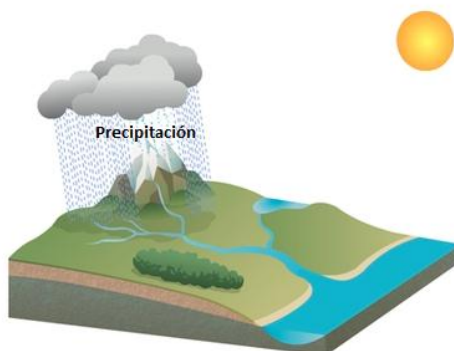


Fuente: <http://www.drinking-water.org/assets/400x/00000393.jpg>

La condensación es el paso del agua en estado gaseoso (en forma de vapor) a estado líquido. El vapor de agua se enfría al expandirse y encuentra temperaturas más frías en la atmósfera; este vapor se puede condensar en diminutas gotas de agua, para de esta manera formar nubes. Este proceso libera energía en forma de calor latente, el cual es necesario para crear la precipitación.

Precipitación

Figura No. 3. Precipitación.



Fuente: <http://procesosdelagua.galeon.com/prec.jpg>

La precipitación es cualquier tipo de agua que cae directamente sobre la superficie de la Tierra. Esto incluye la lluvia, llovizna, granizo, hielo, neblina. La fuente principal

de las precipitaciones son las nubes, pero éstas no se llegan a producir hasta que las diminutas partículas que las constituyen se juntan y consiguen un tamaño suficiente como para vencer la fuerza ascendente de las corrientes atmosféricas y producir de esta manera su descenso. Las precipitaciones son importantes porque ayudan a mantener el balance atmosférico.

Evaporación

Figura No. 4. Evaporación.

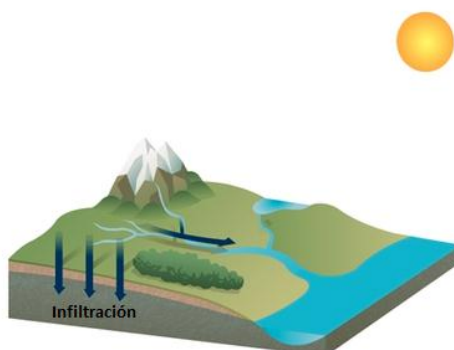


Fuente: <http://definicion.de/wp-content/uploads/2009/09/evaporacion1.jpg>

La evaporación es el paso del agua de estado líquido a estado gaseoso, es decir, lo contrario a la condensación. La evaporación se produce cuando el agua líquida entra en contacto con la atmósfera. Existen varias características físicas que afectan a la evaporación, tales como, la temperatura del aire, la temperatura del agua, el movimiento del aire sobre la superficie del agua y el déficit de presión de vapor.

Infiltración

Figura No. 5. Infiltración.



Fuente: <http://www.drinking-water.org/assets/400x/00000395.jpg>

El proceso de infiltración es el movimiento descendente del agua que traspasa la superficie y penetra en el suelo. El agua infiltrada puede llegar a los acuíferos, ríos,

lagos o al mar, o bien puede quedar retenida en el suelo y volver a la atmósfera por fenómenos de evaporación y/o transpiración.

Transpiración

Figura No. 6. Movimiento del Agua en una Planta, Durante el Proceso de Transpiración.



Fuente: The COMET Program, University Corporation of Atmospheric Research, 2006.

La transpiración es el proceso mediante el cual el agua se evapora de las plantas, las cuales extraen del suelo la humedad a través del sistema radicular. El efecto que se produce de la combinación de la evaporación y la transpiración se denomina evapotranspiración. Los factores que influyen en la cantidad de agua que suelo elimina a través de la transpiración, son los siguientes: el tipo de vegetación, cobertura de las plantas.

Sublimación

Figura No. 7. Movimiento del agua en una planta, durante el proceso de transpiración.



Fuente: http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/hydrologic_cycle_es/media/graphics/bruce_mountains.jpg

La sublimación es la transformación de estado sólido (nieve y hielo) en estado gaseoso (vapor de agua), sin pasar por el estado líquido. La sublimación se intensifica en condiciones de baja humedad y con la presencia de viento.

2.1.2 Impactos de la urbanización en el ciclo hidrológico

El crecimiento demográfico de las ciudades está ligado de manera estrecha con el proceso de urbanización, es uno de los aspectos que afecta de manera significativa el ciclo hidrológico, debido al cambio que existe en el uso del suelo y a la ocupación que se le asigne al mismo.

Se debe anotar que en la zona urbana no existe una cobertura vegetal de intercepción marcada, sino la presencia de tejados impermeables; además el suelo es prácticamente impermeable, con lo que se produce una menor infiltración debido a lo cual el agua viaja rápidamente por canaletas y el pavimento, acumulando una carga importante de sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos, que terminan en los cursos de agua.

Se puede clasificar a los problemas causados por la expansión urbana de la siguiente manera:

1) Problemas de cantidad

Estos problemas son causados por el incremento de la frecuencia y magnitud del caudal de las escorrentías urbanas, así como el uso más intensivo del suelo debido al factor del crecimiento demográfico antes mencionado, lo que puede producir inundaciones y un aumento en las descargas de aguas pluviales, añadiéndose los siguientes factores: aumento de la proporción de área impermeable por la asignación de nuevos usos del suelo, así como, la modificación del patrón del drenaje, causada por los colectores y/o calles de la ciudad.

2) Problemas de servicio

Este tipo de problemas son claramente de carácter social, los cuales abarcan varios aspectos estéticos, funcionales, de aprovechamiento de recursos, comodidad, etc.

Ciertos problemas de comodidad y seguridad para el tráfico, son debido a las acumulaciones de agua en las calles y aceras, los cuales van a afectar de manera directa tanto a los peatones como a los vehículos, por el hecho de que se origina una pérdida del coeficiente de resistencia al deslizamiento, así como pérdidas de visibilidad y resbalones. Otro caso, en el que se puede evidenciar de manera clara un tipo de problema de servicio, es la acumulación de agua en zonas urbanizables, puesto que existe una gran cantidad de lluvia que no es infiltrada en jardines y/o parques debido a la impermeabilización del terreno con pavimentos impermeables,

el cual produce un escurrimiento directo al colector; ocasionando de esta manera que las dimensiones del mismo aumenten y por lo tanto, un aumento en costos.

3) Problemas de calidad

La calidad de las aguas pluviales es afectada al entrar en contacto con los contaminantes de la atmósfera y el suelo, los mismos que son arrastrados y transportados hacia la red de colectores, donde se combinan con los sedimentos producidos por precipitaciones previas y son descargados en los cursos de agua contaminándolos.

2.2 Precipitación

Principalmente es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo, conocido como granizo) se forman y caen a la tierra por gravedad. Además, la precipitación es el factor básico en los procesos de escorrentía de agua lluvia, es importante comprender algunos de los procesos que controlan la formación de lluvia tanto como las fuentes de datos y los métodos de descripción de la precipitación.

2.2.1 Lluvias

Es la forma de precipitación de mayor incidencia en el estudio de procesos de infiltración y escorrentía, ésta caracterizada precipitación se produce por la condensación del vapor de agua que contienen las nubes provocada por los núcleos de condensación.

La lluvia cuando cae, lo hace de forma irregular; parte de ella será aprovechada por la tierra debido al proceso de infiltración, otra parte aumentará los caudales de los ríos por medio de barrancos y escorrentías, y una gran parte bajará por edificios, calles pavimentadas, conjuntos residenciales, techos de los hogares, y demás superficies impermeables que la transportarán directamente a la red de alcantarillado sin ser aprovechada como naturalmente lo haría la tierra.

Podemos cuantificar la caída de aguas lluvia en un punto mediante los pluviómetros. Esta medición se expresa como la altura (h) de agua acumulada sobre una superficie plana e impermeable. En nuestro medio, generalmente la medida de la altura de agua se la realiza en milímetros y la dimensión de la superficie impermeable es de 1 m^2 .

Se han utilizado datos pluviográficos recogidos por ETAPA RHUP (Red Hidrológica Unificada del Paute) y tabulados por el Ing. Rafael Estrella y el Ing. Vladimiro Tobar, siendo presentado el informe final el 12 de mayo del 2008. (Anexo No. 8)

La ciudad de Cuenca cuenta con una red de pluviógrafos y son éstos datos los que se utilizan para cualquier estudio; raramente se instalan algunos para

investigaciones concretas. La red de pluviógrafos está adecuadamente diseñada observando características de relieve, densidad poblacional, intereses en obras hidráulicas, etc.

2.2.2 Gestión del agua lluvia

El manejo del agua lluvia, debe ser considerado como una alternativa en la que pueden preverse riesgos urbanos tales como el colapso de las alcantarillas que fueron diseñadas con caudales mucho menores a los existentes actualmente y en consecuencia de esto pueden haber problemas localizados de inundación. La reutilización de aguas lluvias ha sido utilizada por siglos en regiones tanto húmedas como áridas, y con mayor influencia hoy por hoy debido a la adaptación al cambio climático, en donde el objetivo principal es que la lluvia se convierta en un recurso natural aprovechable, mas no en un problema.

Por consiguiente, es necesario que cada edificación cuente con un sistema particular de captación de agua lluvia, para infiltrarla directamente al terreno con lo que se podría garantizar el riego de jardines y aumentar el nivel freático que se tenía naturalmente antes de ser urbanizado. Durante precipitaciones fuertes, las alcantarillas pueden tener sobrecarga y crear problemas de contaminación de agua.

2.2.3 Elaboración de datos pluviométricos

Se debe tener en cuenta que la precipitación es un fenómeno básicamente variable en el tiempo y en el espacio. Los parámetros básicos a ser considerados para la elaboración de datos pluviométricos son los siguientes:

- Duración de la lluvia
- Intensidad media de la lluvia
- Volumen total de la precipitación
- Tiempo entre precipitaciones sucesivas

Estos parámetros deben analizarse y sintetizarse en gráficos o tablas que sean fáciles de utilizar en los proyectos hidráulicos, como los que se citan a continuación.

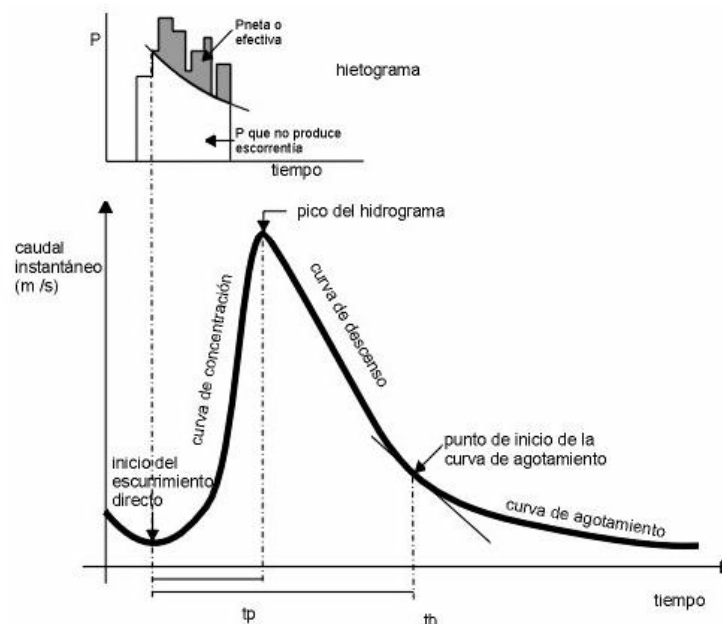
2.2.3.1 Hidrogramas

Los hidrogramas (Figura No. 8) son de gran utilidad para medir el escurrimiento directo producido por una tormenta, es un método empírico de gran utilidad para obtener un caudal de diseño ante la ausencia de información hidrométrica.

Un hidrograma se considera como la expresión gráfica del caudal en relación al tiempo, es decir:

$$Q = f(t).$$

Figura No. 8. Hidrograma de un pico.



Fuente: Fundamentos de Hidrología de superficie, Aparicio F., 2006

El hidrograma unitario, se basa en las siguientes hipótesis:

- Tiempo base constante: es la duración total de escurrimiento directo, que es igual para todas las precipitaciones con la misma duración de lluvia efectiva, siendo independiente del volumen total escurrido.
- Linealidad o proporcionalidad: Las ordenadas de todos los hidrogramas son directamente proporcionales al volumen total de lluvia efectiva.
- Superposición de causas y efectos: el hidrograma resultante de un período de lluvia determinado, se puede sobreponer a hidrogramas precedentes.

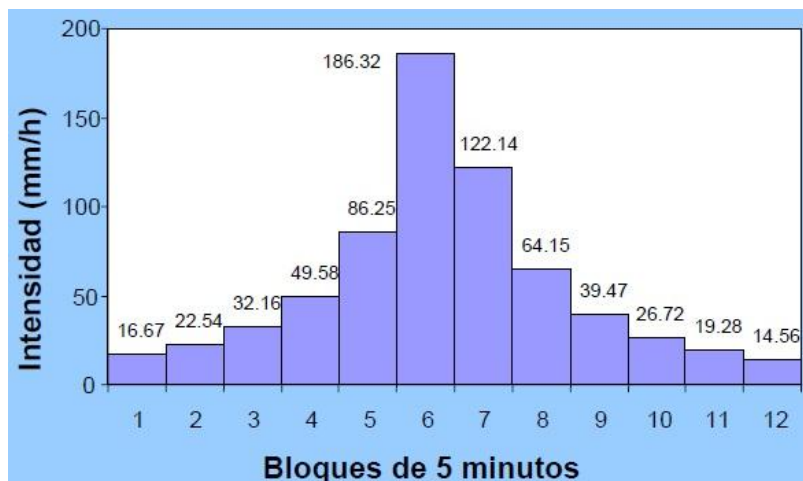
2.2.3.2 Hietogramas

Es un gráfico que expresa precipitación en función del tiempo. En las ordenadas se puede disponer la precipitación caída en mm, o bien la intensidad de la precipitación en mm/h, y en las abscisas el periodo de duración en horas o minutos, y en otras ocasiones puede ser más amplio como meses y años. Generalmente se representa como un gráfico de barras, aunque a veces también se expresa como un gráfico de línea.

Con frecuencia, el hietograma se refiere a un día o a una tormenta concreta. Para su elaboración, si se trata de un hietograma mensual o anual, bastará con representar datos diarios. Si se trata de un hietograma de un día o unas horas de duración, necesitamos una banda de pluviógrafo, leyendo la precipitación caída en los intervalos elegidos.

La figura a continuación (Figura No. 9) es un ejemplo de cómo se presenta un hietograma.

Figura No. 9. Hietograma.

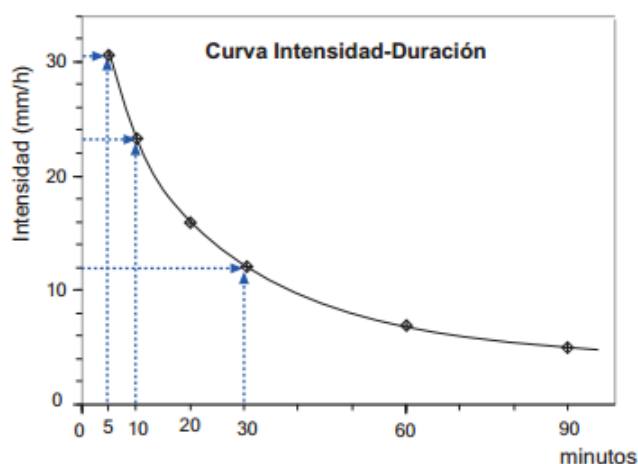


Fuente: Lluvias de Proyecto, Gómez M., 2010

2.2.3.3 Curva Intensidad-Duración

Expresa la máxima intensidad de precipitación registrada en diversos intervalos de tiempo. Es fundamental en cualquier problema que necesite datos de precipitación de intervalos cortos, concretamente, es utilizado para calcular los caudales generados en los cauces superficiales a partir de las precipitaciones, en este caso para el diseño de obras civiles relacionadas con la escorrentía superficial (Figura No. 10).

Figura No. 10. Curva Intensidad - Duración.



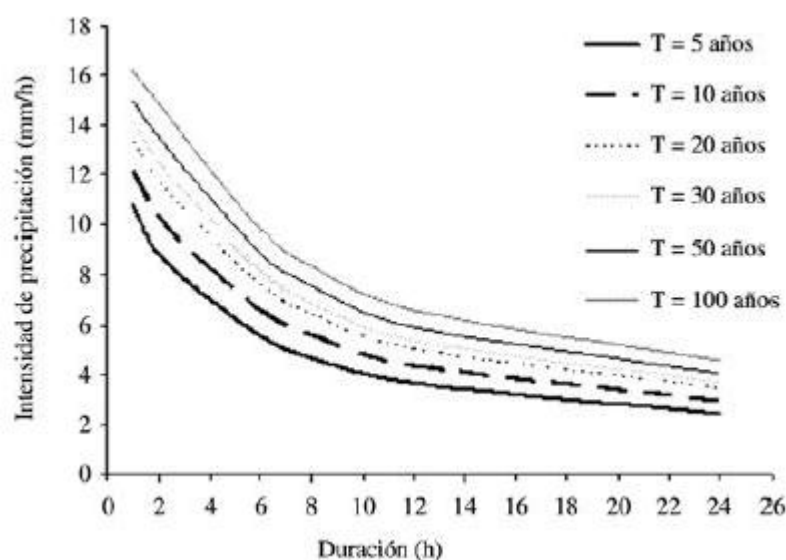
Fuente: Dpto. de Geología, Sánchez J., Universidad de Salamanca

2.2.3.4 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Es común representar conjuntamente varias curvas de intensidad-duración para distintos periodos de retorno, dando lugar a un conjunto de curvas denominadas intensidad-duración-frecuencia (Figura No. 11). La elaboración de una curva IDF es un trabajo laborioso y requiere datos de partida que resultan difícil de disponer.

El uso de las curvas IDF hace referencia a la estimación de crecidas de cuencas hidrográficas que tienen pequeños tiempos de concentración o de pequeña duración. Son perfectas cuando se trata de estimar datos de un lugar que no posee pluviógrafo, solamente pluviómetros totalizadores que entregan precipitaciones diarias o lugares donde no existe información pluviométrica.

Figura No. 11. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia.



Fuente: <http://mingaonline.uach.cl/fbpe/img/bosque/v29n2/fig10.jpg>

Como se puede observar, las gráficas de intensidad-duración son diferentes dependiendo del periodo de retorno que haya sido considerado para el tipo de obra en cuestión.

2.2.4 Intensidad de la lluvia

Generalmente, cuando se estudia la intensidad de la precipitación se la hace en forma muy particular, puramente con fines específicos basados en datos estadísticos, con el objeto de encontrar valores útiles en el cálculo de dimensiones adecuadas para las obras hidráulicas de determinada región. En el presente trabajo, se examina la intensidad máxima de la precipitación en Cuenca con el propósito; de analizar la intensidad específica en la zona de influencia de los colectores.

Si i es la intensidad de la lluvia en mm/hora, d es la duración de la lluvia en minutos y hp la altura de la lluvia, se tiene:

$$i = \frac{hp * 60min}{d} \quad y \quad hp = \frac{i * d}{60min}$$

2.2.5 Precipitaciones de diseño

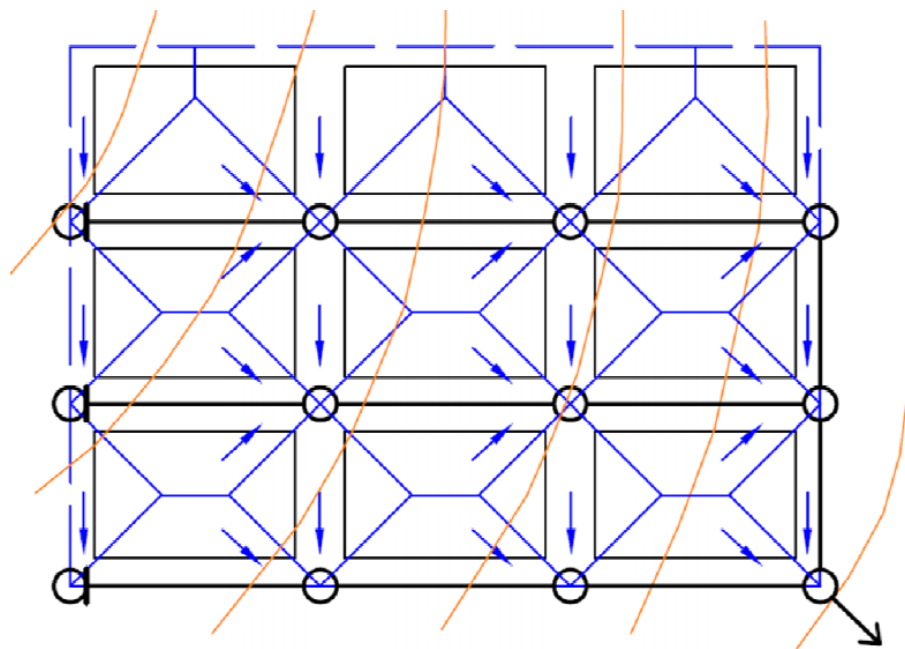
El diseño de infraestructura hidráulica requiere una llamada “relación caudal máximo por periodo de retorno”. Esto quiere decir que se necesita un análisis probabilístico de la información disponible sobre caudales máximos anuales. Cuando no se tienen disponibles esos datos, la estimación se aborda con base a métodos hidrológicos que transforman una precipitación de diseño en caudal máximo. Esta precipitación de diseño se debe construir utilizando la información pluviográfica de la zona y cuando ello no es posible, se emplean los registros pluviométricos de lluvia máxima diaria anual.

Al diseñar la mayor parte de estructuras de gestión de agua de lluvia, es necesario, normalmente, seleccionar una o, mejor dos o tres intensidades de precipitación y de las distribuciones de tiempo para ser usadas en el diseño. El procedimiento óptimo podría representar una simulación continua de la precipitación, temperatura y humedad del suelo para determinar un registro completo de escorrentía.

2.2.6 Áreas tributarias

Una vez diseñado el trazado del alcantarillado, se procede al estudio de áreas tributarias que permitan realizar el cálculo hidráulico de secciones. Así pues, se procede a delinear con bisectrices desde las esquinas, a las manzanas que estén involucradas en la zona urbana a analizar. Asimismo se debe tomar en cuenta el trazado de los colectores, asignando áreas proporcionales de acuerdo a las figuras geométricas a las cuales se asemejen las manzanas (Figura No. 12). También, es importante incluir las zonas de futuro desarrollo dependiendo del tiempo de diseño.

Figura No. 12. Ejemplificación de áreas tributarias.



Fuente: Ingeniería Sanitaria II — CIV 3239 “B”, MSc.c. Ing. Amilkar Amilkar Ernesto ILAYA AYZA, 2011

Con respecto al área es necesario tomar los siguientes datos (Ref. 2.1):

- Definición del área, ubicación de las cunetas de coronación a fin de reducir al mínimo el gran caudal que producen las lluvias.
- Es importante tener datos sobre el uso actual del terreno y su zonificación.
- El uso futuro que influirá en el coeficiente de escorrentía.
- Magnitud del área por medida directa a base de los planos topográficos.
- Pendiente que influirá en el tiempo de concentración.
- Forma del área.
- Subdivisión del área en áreas tributarias a cada uno de los colectores.
- Selección del coeficiente de rugosidad que puede ser general para toda el área o para pequeñas áreas tributarias.

2.3 Infiltración

Se define como infiltración al procedimiento mediante el cual el agua traspasa desde la superficie del terreno hacia el suelo. La infiltración depende de varios aspectos, dentro de los cuales se citan, la condición de la superficie del suelo, su cobertura vegetal y las propiedades del suelo (porosidad, conductividad hidráulica y el contenido de humedad).

La infiltración es de gran importancia en la hidrología urbana ya que reduce y retarda la escorrentía que proviene de las zonas permeables con respecto a las zonas

impermeables, razón por la cual se debe considerar de manera importante al momento de planear cualquier tipo de desarrollo urbano en la ciudad de Cuenca.

El tipo de suelo se considera como el factor más importante en la determinación de la tasa de infiltración; cuando el suelo tiene un porcentaje de finos bien graduados, la tasa de infiltración es baja. En algunos casos en que el suelo es extremadamente compacto, se puede considerar desde un punto de vista práctico, la ausencia de infiltración. Si el suelo tiene varias capas, la capa menos permeable es la que definirá la tasa máxima de infiltración.

En áreas urbanas la infiltración puede aumentar en áreas verdes. Debido al proceso de urbanización la cantidad de agua que se infiltra básicamente disminuye de acuerdo a la distribución de los usos y ocupación del suelo.

2.3.1 Capacidad de Infiltración

La capacidad de infiltración del suelo, se puede calcular mediante el uso de un infiltrómetro y se expresa en términos de profundidad por unidad de tiempo (mm/h); este aparato, permite obtener resultados cualitativos, debido a que no simula condiciones reales. Además, se considera el uso del método de simulación de lluvias, ya que produce mejores resultados al abarcar un área mucho mayor.

2.3.1.1 Factores que Afectan la Capacidad de Infiltración

En el fenómeno de infiltración intervienen los siguientes factores:

- Características del suelo: granulometría, porosidad, humedad, etc.
- Características de la vegetación.
- Condiciones climáticas.
- Temperatura del suelo.
- Profundidad del estrato impermeable.
- Compactación del suelo.
- Aire atrapado.
- Uso del suelo.

De los factores anteriormente citados, los más influyentes en la capacidad de infiltración, se describen a continuación:

Características de la vegetación

El efecto que produce la vegetación en áreas densas, como jardines y parques es muy marcado, ya que ésta tiende a favorecer a la infiltración, produciéndose de una manera muy rápida y así también protegiendo al suelo de la compactación debido a las lluvias. Es decir, el efecto de la cobertura del suelo, puede ser mucho más importante que el tipo de suelo. Una superficie de arcilla, es compactada por las

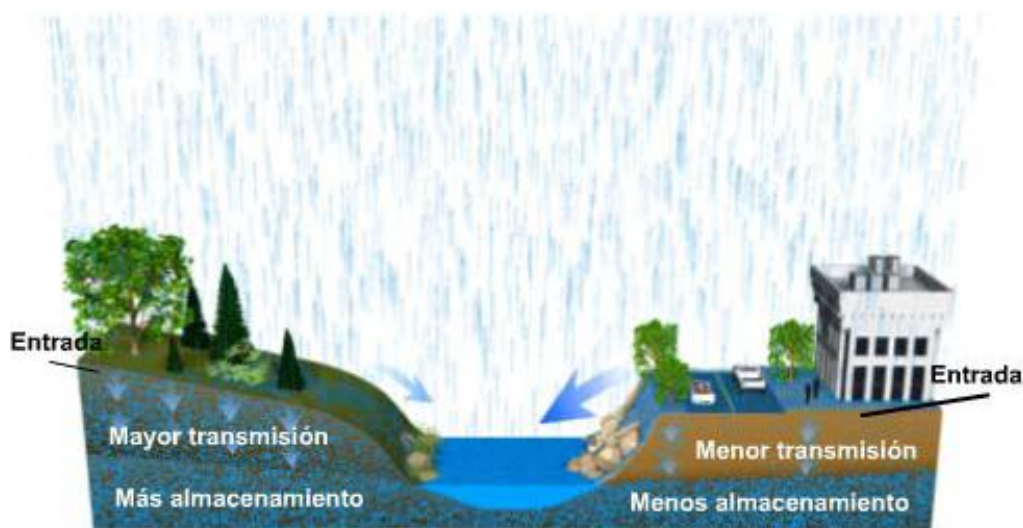
lluvias sucesivas, pero si ésta se encuentra protegida por capas de vegetación, puede alcanzar una notable capacidad de infiltración.

Compactación de suelo debida al hombre. Impermeabilización

El proceso de la urbanización en las ciudades, conduce un sellado progresivo del suelo, reduciendo de manera significativa la capacidad de infiltración del mismo. El suelo en las zonas urbanas, tiene muy baja capacidad de infiltración, puesto que está cubierto por casas, edificios, avenidas, calles, etc., y así provocando una progresiva impermeabilización.

Para un mayor entendimiento de cómo afectan los factores citados anteriormente, se expone el siguiente gráfico:

Figura No. 13. Zonas de humedad durante la infiltración.



Fuente: The COMET Program, University Corporation of Atmospheric Research, 2006.

2.3.2 Proceso de Infiltración

A continuación se describe el proceso de infiltración mediante el siguiente ejemplo:

Inicialmente se considera un área de suelo donde las características puedan ser uniformes, tales como el tipo de suelo, cobertura vegetal, intensidad de la lluvia en el espacio, etc.; las cuales sirven para denotar que el suelo al inicio de una lluvia se encuentra seco y la cantidad de agua que puede absorber por unidad de tiempo (capacidad de infiltración) es muy alta, razón por la cual se infiltraría toda la lluvia, es decir:

$$\text{Si } i < f_p, \quad f = i$$

Dónde:

f = Infiltración [mm/h].

f_p = Capacidad de infiltración [mm/h].

i = Intensidad de la lluvia.

En este proceso las fuerzas producidas por la capilaridad son mayores que las fuerzas gravitatorias.

Con el paso del tiempo, si la lluvia es suficientemente intensa, la humedad del suelo aumentará hasta que su superficie alcance la saturación; luego de lo cual se producirá el llenado de las depresiones del terreno, originándose los encharcamientos y el flujo sobre la superficie; a este proceso se denomina *tiempo de encharcamiento* y se lo describe como t_p .

Luego del período de encharcamiento, si se presenta lluvia de manera intensa, las fuerzas capilares reducen su importancia ante las gravitatorias, debido a que el contenido de humedad en el suelo aumenta y la capacidad de infiltración disminuye a causa de la saturación del suelo; por lo que bajo estas condiciones la infiltración actúa de manera independiente del tiempo de la intensidad de la lluvia, de manera que:

$$\text{Si } i > f_p, \quad t > t_p, \quad f = f_p$$

Donde la capacidad de infiltración disminuye con el tiempo.

De acuerdo a las condiciones anteriores, la capa saturada la cual se encuentra situada en la superficie del suelo se ensancha, por lo que su límite inferior o frente húmedo disminuye. Cuando la mayor parte del suelo se satura, la capilaridad decrece en importancia, por lo que el movimiento de agua se produce únicamente por la gravedad y la capacidad de infiltración se muestra constante.

Posterior al tiempo de encharcamiento, si la intensidad de la lluvia disminuye hasta hacerse menor que la infiltración, el porcentaje de agua existente en la superficie del suelo entra en un proceso de disminución hasta su desaparición, y el agua de los encharcamientos se infiltra y se evapora.

Al no existir agua sobre la superficie del terreno, el contenido de humedad en las capas del suelo aledañas al frente húmedo se disemina, razón por la cual dicho frente avanza hacia la superficie hasta que ésta deja de estar saturada.

Consecutivamente, si la lluvia se intensifica y produce nuevamente un período de encharcamiento, el ciclo citado anteriormente se repite.

2.4 Escorrentía

La escorrentía es el agua procedente de la lluvia que no se absorbe ni se mantiene en el suelo, sino que corre por encima de la superficie. La escorrentía urbana proviene de las ciudades en donde existan carreteras, sitios en construcción, techos, es decir cualquier forma en la que se impermeabilice una superficie. Existen varias maneras para conducir esta agua de lluvia mediante el uso de alcantarillas, canales de drenaje y estanques de retención.

Dentro de las fases iniciales del ciclo hidrológico, la que más importancia tiene para los ingenieros es la escorrentía superficial, dando la mayor preocupación en los problemas de gestión de agua de lluvia, debido a que en la mayoría de estudios hidrológicos se liga al aprovechamiento del agua superficial y la protección contra los fenómenos de deslizamiento.

La escorrentía superficial abarca desde el exceso de precipitación, que ocurre luego de una lluvia intensa sobre la superficie del suelo. El exceso de agua retenida en las depresiones del suelo se infiltra en parte y se escurre de igual manera; sin embargo puede ocurrir que el agua infiltrada aflore a la superficie como fuente de un nuevo escurrimiento superficial.

El desarrollo urbanístico aumenta la carga de contaminantes así como el volumen de escorrentía. En dicho proceso la cubierta vegetal del suelo permeable se convierte en superficies impermeables, tales como calles pavimentadas, techos, estacionamientos; debido a la impermeabilización del suelo, el mismo no puede cumplir su actividad de depuración, al no poder absorber el agua de lluvia, ni realizar la eliminación de los contaminantes.

2.4.1 Proceso Escorrentía Superficial

Al producirse una precipitación, parte del agua humedece la vegetación y otros objetos a manera de interceptación. El agua que llega a la superficie del suelo, se puede infiltrar hasta el subsuelo o la producción de encharcamientos. En el inicio de una tormenta, la velocidad de infiltración generalmente es alta y la velocidad de descenso de las gotas de lluvia es continua. Si la velocidad de precipitación sobrepasa la velocidad de infiltración, puede producirse el fenómeno de escorrentía superficial. La escorrentía puede desplazarse en forma de una lámina irregular de flujo sobre la superficie del suelo; la velocidad de éste desplazamiento está dada por la pendiente del suelo y por las pérdidas ocurridas durante la fricción. Este flujo laminar citado anteriormente se puede acumular dentro de riachuelos, arroyos y ríos. La velocidad del caudal en cualquier punto analizado es función de la escorrentía superficial producida por el drenaje de las zonas y el flujo del agua.

2.4.1.1 Influencia de la urbanización en el proceso de escorrentía

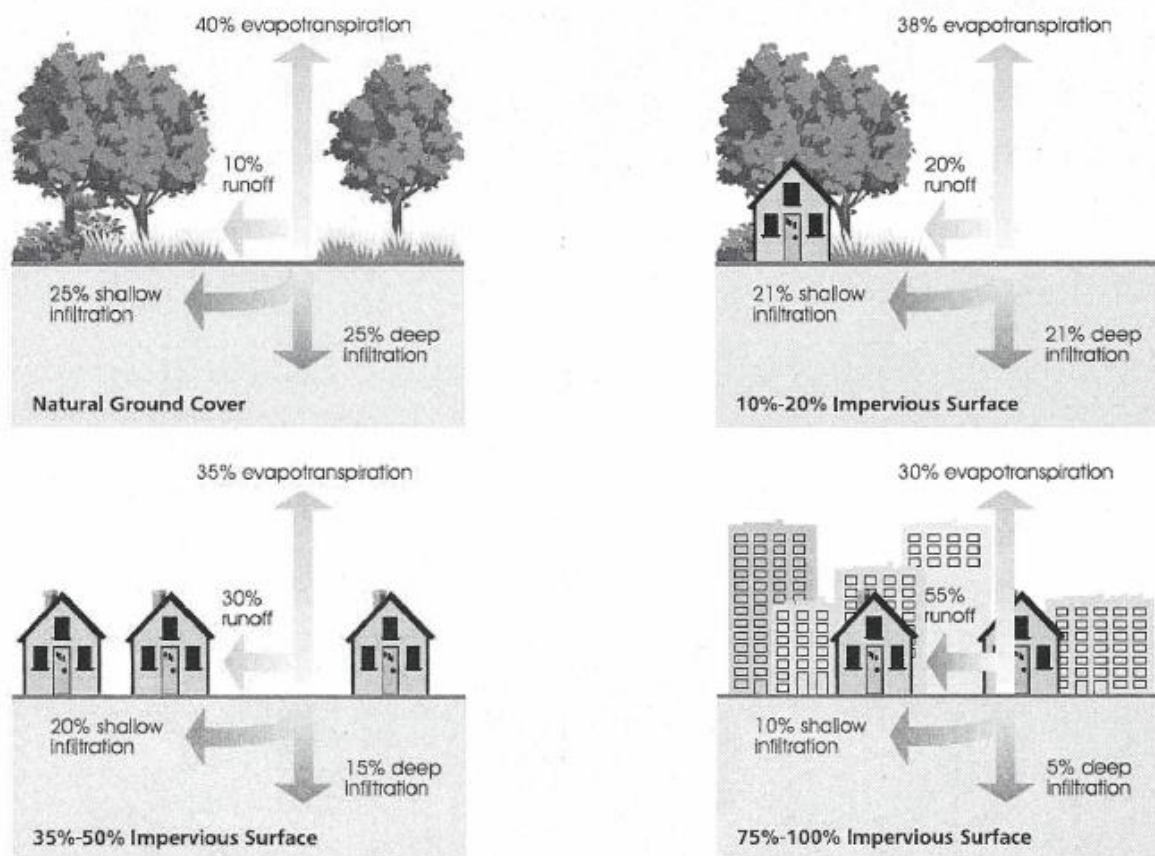
La tendencia al desplazamiento de la población desde zonas rurales hacia zonas urbanas ha hecho que casi el 50% de la población mundial viva en zonas urbanas, habiéndose incrementado en más de un 80% en los últimos 20 años (Ref. 2.2).

El efecto de la urbanización aumenta la escorrentía superficial, al crear superficies más impermeables, como pavimentos y techos, los cuales no permiten la filtración del agua hacia el acuífero. En vez de filtrarse al suelo, el agua es forzada directamente hacia drenajes, donde la erosión y sedimentación pueden ser problemas importantes, incluso cuando no exista una inundación. El aumento de escorrentía reduce la recarga subterránea, bajando así el nivel freático del suelo y de esta manera disminuye un afluente natural al caudal base del río.

El uso que tiene el suelo influye directamente en la determinación del coeficiente de escorrentía, ya que depende del tipo de obra civil que se encuentre emplazada o del tipo de vegetación plantada para elaborar una tabla estimativa, en la que se puede observar si la escorrentía aumenta o disminuye. Es decir, si se tiene un jardín por ejemplo o un parque recreacional, es lógico pensar que el coeficiente de escorrentía va a ser mucho menor que si se tuviera una zona pavimentada o un conjunto residencial, pues en el parque recreacional se favorece la infiltración y en la zona pavimentada la mayoría de la lluvia se convierte en escorrentía que recorre la superficie hasta llegar a un sumidero y finalmente a la red de alcantarillado.

Puede demostrarse que la urbanización y pavimentación modifica la respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia. La urbanización conlleva a la alteración de las redes de drenaje natural debido a la impermeabilización de las superficies, todo ello con el criterio de drenar lo más eficiente y rápido posible el área urbanizada. Pero el drenaje no es el único problema, sino también la evapotranspiración y la infiltración subsuperficial. Puede demostrarse en la Figura No. 14, las variaciones de cada uno de estos factores según el crecimiento urbano va avanzando.

Figura No. 14. Incidencia del crecimiento urbano en la superficie.



Fuente: Hacia el Drenaje urbano sostenible, García J., NILSA.

Existen sistemas que pueden empezar a ser tomados en cuenta, como aprovechar mejor las superficies urbanas existentes (rotondas, parques, aceras, etc.) para empezar a utilizar estas metodologías de retener e infiltrar lo máximo posible de agua lluvia. Las aguas que se infiltren, o lleguen más tarde a la red de drenaje, redundarán en una reducción de los tamaños de los conductos de alcantarillado necesarios, lo que se traducirá en un ahorro de construcción, molestias sociales, contaminación ambiental, aumento del nivel freático, aumento del nivel en los cauces de los ríos, etc.

Para resolver problemas de drenaje en zonas urbanas densamente pobladas como Cuenca, se realiza la construcción de nuevos colectores con el fin de compatibilizar la escasez de espacio disponible en la superficie, la afección a las redes de servicios urbanos y la incidencia en un tráfico durante la construcción.

2.4.2 Factores que afectan el proceso de escorrentía

La escorrentía superficial, está afectada por varios factores que benefician o perjudican su ocurrencia. Dichos factores pueden ser de naturaleza climática con relación a las precipitaciones, o de naturaleza fisiográfica dependientes de la cuenca.

2.4.2.1 Factores climáticos

Estos factores intervienen principalmente en la cantidad de agua precipitada que se escurre sobre las distintas superficies. De éstos se pueden mencionar los procesos de precipitación, interceptación, evaporación y transpiración:

Precipitación

El proceso de escorrentía se encuentra en función de la precipitación y depende de varios aspectos, tales como:

- **Forma:** La rapidez con la que se origina la escorrentía depende de la precipitación; como por ejemplo, si ésta se encuentra en estado líquido como la lluvia, existirá una mayor rapidez; pero si ésta está en estado sólido como el granizo, la rapidez con la que se origine estará en función de la velocidad de la fusión y de la temperatura ambiente.
- **Intensidad:** Se producirá escorrentía si la intensidad de la lluvia supera la intensidad de infiltración. A mayor intensidad de precipitación, se tendrá un mayor caudal de escorrentía.
- **Duración:** Una precipitación de larga duración, independiente de la intensidad de la misma, disminuye la capacidad de infiltración del suelo. A mayor duración de precipitación, se tendrá un mayor caudal de escorrentía.
- **Dirección del movimiento:** La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación, influye en el escurrimiento de la cuenca. El caudal de escorrentía será mayor si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca.
- **Distribución en el espacio:** De manera global, la precipitación no comprende toda la superficie de la cuenca; es por eso que el caudal de escorrentía estará en función del área cubierta por la precipitación.
- **Humedad del suelo:** si al momento de ocurrir una tormenta el suelo está seco, o tiene un porcentaje de humedad muy bajo, tendrá una mayor capacidad para la absorción de agua. La capacidad de infiltración disminuirá si el suelo presenta una humedad inicial antes de la precipitación; así, el tiempo necesario para la saturación del suelo será menor, facilitando de esta manera el proceso de escorrentía superficial.

Interceptación

Estos factores tienen efectos muy importantes en la escorrentía. La urbanización de las ciudades, así como la falta de vegetación y los cambios en los usos del suelo,

son casos especiales que deben ser considerados. La urbanización tiene varios impactos importantes sobre el proceso de escorrentía:

- Debido al aumento en el porcentaje de superficies impermeables y de suelos compactados, se producen mayores volúmenes de escorrentía.
- Producción de una escorrentía más rápida a causa de las redes viales, redes de drenaje de aguas pluviales y a las alteraciones de la vegetación natural.

Evaporación

La cantidad de agua que se pierde por la evaporación del agua almacenada en las capas aledañas a la superficie del suelo disminuye el caudal de escorrentía. La evaporación depende fundamentalmente de la radiación solar, la cual es el principal suministro de energía para la vaporización.

Transpiración

La transpiración es de gran importancia en el proceso de escorrentía, debido a que se desprende una gran cantidad de agua de las hojas de las plantas en forma de vapor, esta agua es absorbida del suelo mediante las raíces de la vegetación, razón por la cual, en cuencas con abundante vegetación será menor el coeficiente de escorrentía que en zonas urbanizadas.

2.4.2.2 Factores fisiográficos

Estos factores se encuentran relacionados con la forma, características físicas del terreno y los canales que forman el sistema fluvial. Dentro de los factores fisiográficos, podemos encontrar los factores físicos y morfométricos, los cuales serán explicados a continuación:

Factores Físicos

Los factores físicos o estructurales recogen ciertas características del suelo, como:

- Uso y cubierta del suelo: Dentro de este factor se puede indicar, que si el flujo de agua sobre un terreno con vegetación mínima es rápido, se producirá erosión en la superficie del terreno.
- Tipo de suelo: De acuerdo al tipo de suelo presente, la tasa de infiltración será variable de acuerdo a las características del mismo, por ejemplo, si el suelo presenta características porosas, la capacidad de infiltración será mayor, por lo que el proceso de escorrentía se retardará.
- Geología: Influye de manera principal en el escurrimiento, debido a la permeabilidad de los estratos que conforman el terreno.
- Topografía: Ayuda a identificar la presencia de ondulaciones en el terreno y los límites superficiales de la cuenca hidrográfica.

Factores Morfométricos

Estos factores intervienen en el comportamiento del agua de lluvia luego de haber sido precipitada en la superficie; a su vez, condicionan los efectos sobre el flujo

natural del agua como la velocidad y el tiempo de recorrido hacia la salida de la cuenca.

- Forma y tamaño: un mayor o menor volumen de escorrentía se basa en la forma de la cuenca y a la precipitación que cae dentro de ella. Una mayor producción de escorrentía ocurrirá si el eje mayor de la cuenca es paralelo al curso de la precipitación, que si el curso de la precipitación es transversal, ya que no cubrirá toda la cuenca.

Conjuntamente, las tormentas como se van a desplazar en función de la presión atmosférica y de las condiciones orográficas, se obtiene la siguiente situación.

Una menor producción de escorrentía se producirá si la precipitación se traslada hacia la parte superior de la cuenca, que si ésta se trasladara desde la parte superior hacia la parte inferior de la cuenca; para este caso se asumen intensidades pluviométricas similares. El fenómeno ocurre de la siguiente manera:

Si la precipitación se traslada pendiente arriba, es decir, hacia la parte superior de la cuenca; las gotas de lluvia que caen de la tormenta demorarán un cierto tiempo (este puede ser minutos u horas) en alcanzar el punto de drenaje de la cuenca.

Si la precipitación se traslada pendiente abajo, es decir, hacia la parte inferior de la cuenca; las gotas de lluvia que caen de la tormenta demorarán un cierto tiempo (este puede ser minutos u horas) en alcanzar el punto de drenaje de la cuenca. Adicionalmente, se le suma la escorrentía depositada en la parte superior de la cuenca, dicho proceso debido al efecto de recarga hídrica superficial o subsuperficial, reducirá el tiempo para alcanzar el punto de drenaje de la cuenca.

- Pendiente: Este condicionante se encuentra relacionado con los procesos de escurrimiento superficial e infiltración. Así tenemos, en terrenos planos con pendientes muy bajas, el volumen de agua encharcada por las irregularidades y las depresiones topográficas que presente el terreno es mayor que en pendientes pronunciadas; no obstante, este efecto no se aplica en las zonas pavimentadas, en donde la pendiente no influye en el coeficiente de escorrentía.

2.4.3 Métodos para el cálculo de la escorrentía

De acuerdo a los factores que influyen en la escorrentía de una cuenca, se utilizan varios métodos para su cálculo, teniendo en cuenta la cobertura de la vegetación

natural y la ocupación del suelo. A continuación se analiza el Método Racional Americano.

El método racional es el que da los mejores resultados en proyectos de drenaje urbano, debido a que disminuye la complejidad al estimar los coeficientes más adecuados para el cálculo, produciendo una variación en intervalos más cortos.

2.4.3.1 Método racional

Este método fue introducido por los Estados Unidos y es utilizado para el cálculo de alcantarillado tanto pluvial como mixto de un área pequeña, utilizando la intensidad de la lluvia, el área y un factor de uso del suelo.

Se estableció un método simple para estimar el caudal de escorrentía que escurrirá por una determinada sección de la red de alcantarillado, en base a la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Dónde:

Q = Volumen o caudal de escorrentía [m^3/s].

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

I = Intensidad de la lluvia [mm/h].

A = Área de la vertiente o cuenca [ha].

La infiltración y otras pérdidas no se consideran dentro de una manera física real en el Método Racional Americano, sino de manera indirecta en el coeficiente de escorrentía C . El almacenamiento temporal del escurrimiento sobre el terreno y en los cauces, así como las variaciones temporales y espaciales de la lluvia son ignoradas completamente, por lo cual el método es válido cuando tales efectos son pequeños.

Para el cálculo mediante este método, el área (A) es determinada directamente por medida, valiéndose de levantamientos aerofotogramétricos de la zona; el coeficiente de escorrentía (C), que depende principalmente de las características del suelo, pendientes y usos del suelo, la intensidad (I), es la intensidad de una tormenta específica o tomada de una curva o ecuación:

$$I = f(t)$$

Dónde:

t = Es el tiempo de concentración, el cual se lo define como el tiempo de entrada al sumidero, más el tiempo de escurrimiento en la alcantarilla hasta el punto de diseño.

Hipótesis básicas del método racional

1. La intensidad de la precipitación es uniforme en el espacio y no varía con el tiempo.
2. La duración de la precipitación que produce un caudal máximo dada una intensidad I , es el tiempo de concentración de la cuenca (t_c).
3. El coeficiente de escorrentía se mantiene uniforme en el tiempo y en el área drenante considerada.

Limitaciones del método racional

1. La superficie de la cuenca a ser estudiada deberá contar con una superficie inferior a 1 km^2 (Ref. 2.3), porque se supone que las intensidades de la precipitación deben ser muy uniformes en todos los puntos de la cuenca.
2. Las cuencas que presenten una gran heterogeneidad de sus características físicas, como por ejemplo cubierta vegetal del suelo, grado de impermeabilización, red de drenaje, etc., será necesario realizar una subdivisión en subcuencas para que éstas sean lo más homogéneas posibles.
3. Cuando la cuenca se muestra compleja, es decir que contiene varias subcuencas, se tiende a sobreestimar las descargas, producto de esto se construirán obras sobredimensionadas.

Obtención de los parámetros del método racional

a. Coeficiente de escorrentía superficial (C)

El coeficiente de escorrentía superficial, se define como la relación entre el volumen de agua escurrida superficialmente y el volumen de agua precipitada. Puede ser dependiente a un episodio aislado de lluvia o a un período de tiempo dentro del cual se presentan varias precipitaciones.

El coeficiente de escorrentía depende de un gran número de elementos y no es constante para un área dada ni aún durante una sola lluvia. En las zonas urbanas con alto grado de impermeabilidad de superficie, los coeficientes de escorrentía tienden a 1 y se mueven en intervalos relativamente pequeños.

En las zonas urbanas con alto grado de impermeabilidad de superficie, los coeficientes de escorrentía tienden a 1 y se mueven en intervalos relativamente pequeños.

El fenómeno físico que reproduce el coeficiente de escorrentía es el proceso de pérdidas que actúa en diferentes vías (intercepción, infiltración, almacenamiento en depresiones, etc.), y que depende de las características del uso y tipo del suelo y de la topografía de las propias precipitaciones. El uso del coeficiente de escorrentía

en el método racional, considera un promedio de pérdidas totales durante un tiempo equivalente al tiempo de concentración.

Coeficiente de impermeabilidad

La determinación de la proporción de área tributaria que puede considerarse como impermeable, se basa en parte en una estimación del porcentaje de la superficie que será cubierta por pavimentos, techos y otros elementos impermeables, y en cálculo de la impermeabilidad relativa del suelo que no está cubierto. Luego estas dos estimaciones se combinan formando un coeficiente promedio de impermeabilidad para el área (Ref. 2.4).

Para la obtención del coeficiente de escorrentía se debe realizar una división en subcuencas a partir de una cuenca inicial, para que de esta manera se consiga un mayor grado de homogeneidad, ya que las características de la cuenca no son homogéneas de manera especial en las urbanizaciones de tipo residencial porque presentan importantes zonas ajardinadas.

Según el Código Ecuatoriano de la Construcción Parte IX Obras Sanitarias (1992), propone una serie de valores del coeficiente de escorrentía para distintos tipos de superficie:

Tabla 1. Valores de C para diferentes tipos de superficie.

Tipos de Superficie	C
Cubierta metálica o teja vidriada.	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85-0.9
Pavimentos de hormigón.	0.8-0.85
Empedrados (juntas pequeñas).	0.75-0.8
Empedrados (juntas ordinarias).	0.4-0.5
Pavimentos de macadam.	0.25-0.6
Superficies no pavimentadas.	0.1-0.3
Parques y jardines.	0.05-0.25

Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción Parte IX Obras Sanitarias, 1992.

Para el caso de zonas urbanas se debe tomar un coeficiente de escorrentía medio a partir de una ponderación de áreas, por lo tanto:

$$C = \frac{\sum A * C}{\sum A}$$

Dónde:

C = Coeficiente de escorrentía según el tipo de superficie.

A = Área considerada.

b. Intensidad de lluvias

La intensidad de lluvias en el Método Racional Americano, es necesario para la estimación del caudal provocado por las lluvias. La intensidad utilizada en los cálculos de alcantarillado es la intensidad media, este método exige el conocimiento de la intensidad de la lluvia en (mm/h) y el coeficiente de escorrentía.

La lluvia de cálculo que se analiza en el método racional pertenece a un hietograma rectangular de una intensidad I uniforme y con una duración igual al tiempo de concentración T_c de la cuenca, produciéndose una altura total de lluvia de valor $I * T_c$ lo que origina una precipitación uniforme en toda la superficie de la cuenca. De esta manera, al determinar T_c e I queda establecida la lluvia de cálculo.

Tiempo de concentración (T_c)

Como se definió anteriormente el tiempo de concentración es el período de tiempo de recorrido del agua del punto hidráulicamente más distante de la cuenca al punto de interés, después de que el suelo y las microdepresiones del mismo se saturaran de agua.

Sin embargo en las zonas urbanas el agua va a recorrer dos caminos: uno superficial, hasta alcanzar alguna de las estructuras de captación y ser captada en la red, y dos, por la propia red de drenaje. Las características de los dos caminos son totalmente distintas. Por un lado la superficie de la ciudad, tejados, acera, cunetas, presentan un comportamiento bidimensional, con un material más rugoso y un camino menos definido. Caso contrario, la red de drenaje presenta una conducción de drenaje muy bien definida, con sus conductos secundarios, primarios, donde el flujo es de tipo unidimensional, y en general con materiales en las paredes más lisos que en la superficie.

El tiempo de concentración consta de dos partes, tiempo de entrada y el tiempo de flujo en los drenes, los cuales serán explicados a continuación.

Tiempo de flujo

Es el tiempo que tarda una gota en recorrer el camino que separa la entrada al sistema de colectores y la sección de cálculo. Si no existe sistema de colectores, el tiempo de flujo es nulo. El tiempo de flujo en los drenes se obtiene a partir de un cálculo hidráulico en donde se debe conocer las condiciones de caudal, tamaño y pendiente del alcantarillado; este tiempo viene dado por la siguiente ecuación:

$$Tf = \frac{L}{60 * V}$$

Dónde:

Tf = Tiempo de flujo o recorrido [min].

L = Longitud del tramo [m].

V = Velocidad del tramo [m/s].

Tiempo de entrada

El tiempo de entrada comúnmente utilizado en el cálculo de alcantarillado por el método racional, es el tiempo necesario para mojar las superficies, llenar depresiones, establecer el escurrimiento superficial y para que el agua corra sobre el terreno y entre en los drenes desde los puntos más distantes del área tributaria.

Es muy complejo el cálculo del tiempo de entrada, debido a que depende de varios factores como magnitud, forma, pendiente y rugosidad de la superficie. Para encontrar dicho tiempo existen ábacos en función de la pendiente, los cuales varían de 5 a 30 minutos. Para dicho cálculo se dan las siguientes recomendaciones (Ref. 2.5):

1. Zonas densamente construidas, con descargas directas al sistema de alcantarillado, el tiempo de entrada se puede tomar 5 minutos.
2. Para zonas desarrolladas con pendientes bajas alrededor del 2%, que no presentan las características de necesidad de construcción, se puede tomar de 10 a 15 minutos, en el caso de la ciudad de Cuenca se toma 7 minutos en densamente construidas y 10 minutos en poco construidas.
3. Para zonas residenciales, de casas aisladas con grandes espacios verdes se puede tomar de 20 a 30 minutos.

Intensidad media máxima

El valor de la intensidad I de la lluvia viene dado por la duración de la misma, la cual equivale al tiempo de concentración y el período de retorno seleccionado. Para su obtención se pueden utilizar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, las cuales deben ser correspondientes a la región de estudio; estas curvas se las realizan a partir de los hietogramas registrados en diferentes estaciones pluviométricas y permitirán el procesamiento de datos de la intensidad media máxima para una duración de lluvia y un período de retorno. Para el ajuste de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, se utiliza el modelo de Talbot (Ref. 2.6):

$$I = \frac{a}{b + t}$$

Dónde:

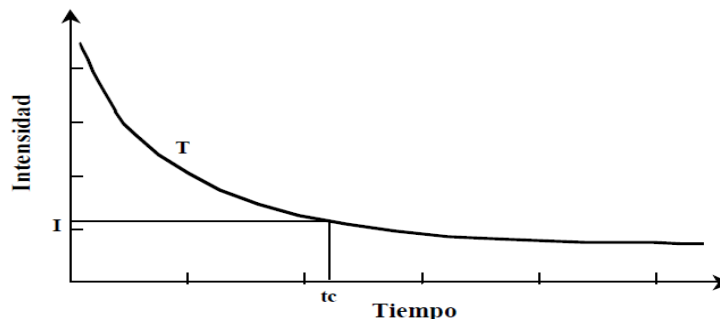
I = Intensidad de la lluvia.

t = Duración.

a y b = Constantes a determinar en función del período de retorno.

De lo que se puede observar en la siguiente figura, a mayores tiempos de duración de lluvia corresponderán intensidades medias máximas menores, mientras que en lluvias de menor duración se registran altas intensidades.

Figura No. 15. Determinación de la intensidad a partir de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia.



Fuente: Elaboración propia.

c. Área de drenaje

Para la aplicación del método racional en el diseño de las redes de alcantarillado, es necesario el conocimiento del área tributaria y del esquema drenante. Para la determinación del área tributaria se deberá tener en cuenta la topografía superficial, así como la disposición de información necesaria de la red de alcantarillado, los datos sobre el uso actual del terreno y su zonificación y la subdivisión del área en áreas tributarias a cada uno de los colectores.

El área de drenaje, en el método racional se utilizará para la estimación del escurrimiento superficial de las cuencas tributarias con una superficie inferior a 1 km^2 (Ref. 2.3).

2.4.3.2 Método del volumen de embalse (Paladini-Fantoli)

Este método se encuentra fundado en la ecuación de continuidad, la cual expresa que el volumen de agua caída en un tiempo dt , reducido a la medida adecuada a la capacidad de absorción de los terrenos que forman la cuenca, es igual a la suma del volumen de agua que el canal a calcularse evacua en el instante considerado y del volumen de agua almacenado, en el mismo tiempo dt , en el canal, en la red afluente y en la superficie de la cuenca.

Llamando " p ", el volumen de agua afluente a la red en la unidad de tiempo; " q " el caudal del canal en un tiempo t , " dv " al incremento del volumen de agua en el canal durante el tiempo dt , la ecuación de continuidad sería:

$$p \, dt = q \, dt + dv \quad (1)$$

Si " I " es la intensidad media horaria de la lluvia a considerar, " C " el coeficiente de escorrentía el cual se obtuvo después del análisis de impermeabilidad de la zona y " A " el área de la cuenca correspondiente a la red a analizar, entonces se tiene:

$$p = CIA$$

Si se expresa " p " en m^3/s , " I " en mm/h y " A " en ha , tenemos:

$$p = \frac{CIA}{360}$$

Para simplificar el cálculo, se considera, el valor de " p " para toda la duración de la lluvia, pero, siendo variable con el tiempo " q " y " v "; la ecuación de continuidad no podría ser integrada sin expresar una de las variables en función de la otra.

Por esta razón, se aplica la hipótesis simplificadora de que el nivel de agua permanezca siempre paralelo al fondo durante el llenado del canal, y que el volumen " v " ocupado por el agua sea en todo instante proporcional al área de la sección mojada " ω ", es decir:

$$v = \mu\omega$$

Dicha hipótesis, en el caso de canales de alcantarillado, en los que ordinariamente se dispone de bajas pendientes y la longitud de los colectores es limitada no trae consigo un error apreciable.

El valor del coeficiente de proporcionalidad " μ " se determina observando que, con la hipótesis indicada, se deberá tener:

$$v = \frac{V}{\Omega} \omega$$

En donde, " V " representa el máximo volumen embalsado cuando el área de la sección bañada en la desembocadura alcanza el valor " Ω " el cual se ha establecido en primer lugar que no debe ser superado. Por lo tanto, el coeficiente " μ " representa la relación V/Ω .

Evidentemente, también se tiene:

$$dv = \frac{V}{\Omega} d\omega$$

Sustituyendo esta ecuación en (1):

$$p dt = q dt + \frac{V}{\Omega} d\omega$$

Si se admite que entre la sección mojada y la correspondiente cantidad de agua " q ", existe una relación lineal, se tiene:

$$\frac{\omega}{q} = \frac{\Omega}{Q}$$

En donde, " Q " representa el caudal que el canal evacúa cuando la sección mojada es " Ω ":

$$d\omega = \frac{\Omega}{Q} dq$$

En realidad la relación entre " q " y " ω ", en los canales cerrados no es una recta, sino una curva (Ref. 2.7), cuyo coeficiente angular está representado por el valor de Q/Ω .

De esta manera, la ecuación de continuidad se transforma en:

$$p dt = q dt + \frac{V}{Q} dq$$

Separando las variables:

$$dt = \frac{V}{Q} \frac{dq}{p - q}$$

Si efectuamos la integral, resulta que:

$$t = -\frac{V}{Q} \ln (p - q) + C$$

Para determinar la constante " C " se utiliza condiciones límites, como que para un tiempo $t = 0$ es decir al principio de la lluvia, se tendrá $q = 0$; por lo que:

$$C = \frac{V}{Q} \ln p$$

Y por tanto:

$$C = \frac{V}{Q} \ln \frac{p}{p - q}$$

Esta es la fórmula fundamental del método del volumen de embalse (Paladini-Fantoli) para el cálculo de los canales de alcantarillado. La fórmula también se aplica para la comprobación o verificación de un canal ya dimensionado, para una determinada lluvia de la cual se conozca la intensidad y la duración T_c , lluvia que se considera crítica para dicho canal.

Ordinariamente se busca el tiempo de llenado T_r y se lo compara después con el tiempo T_c , si $T_r > T_c$, quiere decir que la lluvia considerada termina antes de que el canal se llene; si $T_r < T_c$, el canal trabajaría a presión. En el primer caso se dice que la lluvia es compatible con la red examinada.

El tiempo de llenado T_r se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{V}{Q} \ln \frac{p}{p - Q}$$

Para entender de mejor manera el método, a continuación, se expone un ejemplo:

Se tienen los siguientes datos:

Área de la cuenca: $A = 205 \text{ ha}$.

Coefficiente de impermeabilidad: $C = 0.5$

Intensidad de la lluvia que se considera crítica: $I = 50 \text{ mm/h}$.

Volumen de embalse disponible: $V = 20000 \text{ m}^3$.

Caudal máximo que puede evacuar el canal a sección llena: $Q = 8.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por lo tanto, tenemos:

$$p = \frac{CIA}{360} = \frac{0.5 * 50 * 205}{360} = 14.2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

El tiempo de llenado del canal es:

$$T_r = \frac{V}{Q} \ln \frac{p}{p - Q} = \frac{20000}{8.4} \ln \frac{14.2}{14.2 - 8.4} = 2.131 \text{ s}.$$

Si en los registros de los datos meteorológicos no se encuentra una lluvia de una intensidad de 50 mm/h que dure más de 2.131 s , el canal no podrá ser puesto en carga por lluvias de tal intensidad.

Se puede evidenciar que en este método es preciso efectuar la comprobación para diferentes lluvias de diferentes intensidades y duraciones. Por lo general para zonas no muy extensas las lluvias más peligrosas son aquellas de gran intensidad y duración relativamente corta.

2.5 Aspectos de diseño de redes de alcantarillado

2.5.1 Redes de Alcantarillado

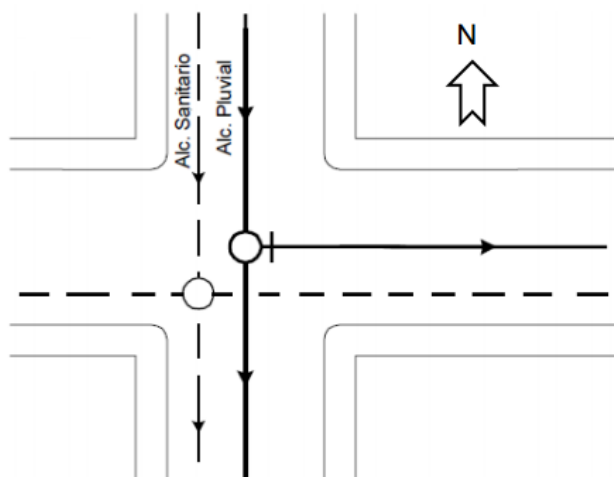
Con el desarrollo de las localidades urbanas, es necesaria la construcción de un sistema de alcantarillado para conducir las aguas residuales que produce la

población, ya sean éstas de origen comercial, domiciliario o industrial. Debido a esto, el criterio básico para un proyecto de alcantarillado, consiste en tener muy presente las futuras condiciones de utilización.

Un sistema de alcantarillado está constituido por: canalones, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento y cuerpo receptor. Una red de alcantarillado se compone de varios elementos certificados, tales como tuberías, conexiones, anillos y obras de acceso: descargas domiciliarias, pozos de visita, estructuras de caída, sifones y cruzamientos especiales.

Lo óptimo sería que las alcantarillas trabajen como colectores, es decir, con el flujo parcialmente lleno, de otro modo trabajarían a presión. En general, las tuberías y los colectores seguirán la pendiente natural del terreno, debiendo pasar por debajo de la red de agua potable. Y siempre que sea posible deberán ser instaladas del lado opuesto de la acera en la cual haya sido instalada la tubería para agua potable, como se muestra en la siguiente figura.

Figura No. 16. Esquema de la Instalación de Alcantarillado.



Fuente: Autores, Elaborado en base al MIDUVI, 2011

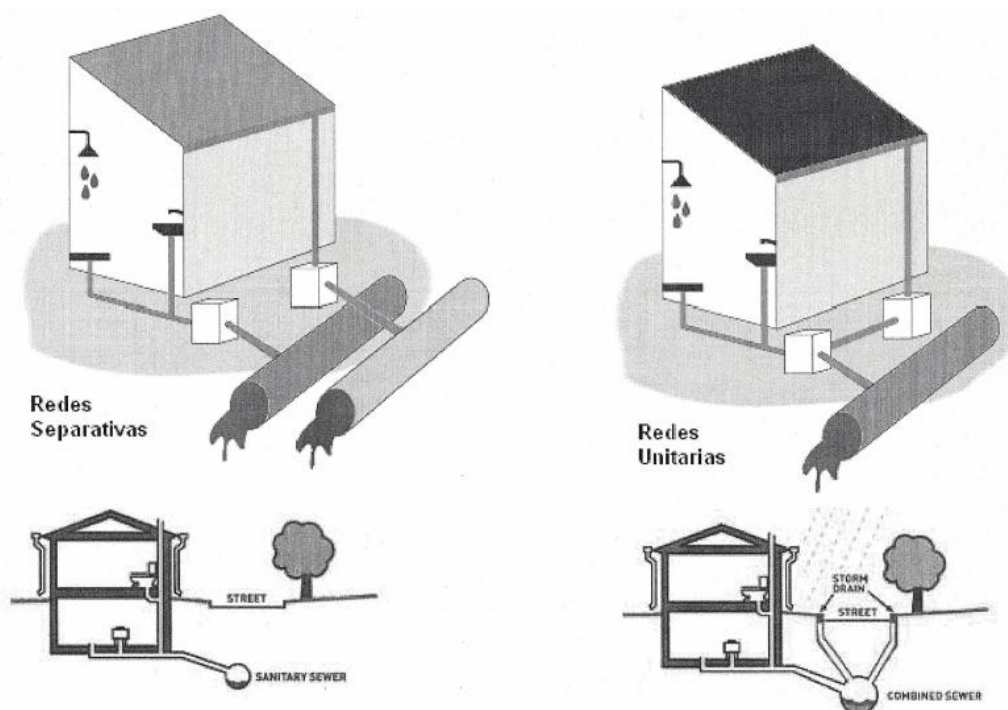
2.5.1.1 Tipos de redes de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado se caracteriza por un conjunto de tuberías que recogen y transportan las aguas residuales domésticas y comerciales, la escorrentía del agua lluvia, y el agua residual industrial. Existen dos tipos de redes de alcantarillado, los cuales pueden ser observados en la Figura No. 17. En general, el proceso de recolección y transporte de aguas residuales debe estar ligado a varios factores, tales como (Ref. 2.8):

- Las proyecciones poblacionales
- Los planes de ordenamiento territorial

- Los consumos de agua potable
- Las características hidrológicas de la zona
- Las características de los cuerpos receptores para las descargas de los aliviaderos
- Los aspectos socioeconómicos y socioculturales
- Los aspectos técnicos y las nuevas tecnologías

Figura No. 17. Esquematzación de los tipos de redes de alcantarillado.



Fuente: Hacia el Drenaje urbano sostenible, García J., NILSA.

Alcantarillado Separado

Son las redes que recogen las aguas residuales en dos canalizaciones independientes. La red de aguas residuales transporta los desechos domésticos, comerciales e industriales. La red de aguas pluviales conducirá las aguas de escorrentía superficial producida por precipitaciones y las aguas recolectadas en edificios y sumideros. Este tipo de redes exige una doble red de alcantarilla en casi todas las calles puesto que no todas sumidero debido a su corta longitud.

- **Ventajas**
 - Permite la descarga directa de la red pluvial en un cuerpo receptor.
 - Puede construirse un sistema de infiltración de aguas lluvias directamente al terreno, aprovechando el riego de jardines y elevando el nivel freático de la zona.



- Los gastos de limpieza son menores, debido a que tienen menor variación de caudal y velocidad que circula por las alcantarillas de aguas residuales.
- **Desventajas**
 - Deben adoptarlo, sobre todo aquellas ciudades o zonas que no posean sistema de alcantarillado, es decir que el sistema sea completamente nuevo.
 - Cuando las condiciones de drenaje del terreno permitan una buena evacuación de la escorrentía de aguas lluvias, evitando la sedimentación en las tuberías.
 - Es necesaria la construcción de aliviaderos que conduzcan el agua (ya sea residual o pluvial) que ha superado el caudal máximo hacia vertientes naturales.

Alcantarillado Combinado

Son las redes en las cuales se vierten todas las aguas, ya sean residuales o pluviales, en una misma canalización. Este tipo de redes es la más sencilla de instalar y de dar mantenimiento ya que hay un solo ramal de alcantarillado y una sola acometida.

- **Ventajas**
 - Es muy útil al momento de analizar alternativas técnicas eficientes y económicas, siempre y cuando se incluyan las consideraciones de tratamiento y disposición final de las aguas recolectadas.
- **Desventajas**
 - Se deben cumplir las normas municipales sobre calidad y uso de corrientes, tramos o cuerpos receptores.
 - Se deben realizar estudios periódicos de modelación y caracterización de la calidad del agua de la red de alcantarillado y el cuerpo receptor.
 - En invierno, el nivel de agua sobrepasa el nivel del aliviadero, descargando simultáneamente agua residual y agua pluvial, creando un impacto ambiental irreversible.

2.5.2 Diseño de Colectores

2.5.2.1 Velocidades Límite

Para diseñar correctamente un colector es conveniente limitar la velocidad del agua a fin de que se asegure la autolimpieza del colector, evitando la sedimentación de las partículas sólidas, y también para evitar daños en las paredes del colector debido a la acción mecánica que el agua tiene sobre las paredes del mismo.

La velocidad en una sección depende de la pendiente del colector, de las características geométricas y de las características físicas como la rugosidad. Aunque, no siempre es posible asegurar que un colector presente una velocidad que evite la sedimentación cuando se conduce caudales bajos, y para caudales elevados, dicha velocidad sea inferior a un valor recomendado. Por ello, para caudales bajos se puede admitir cierto porcentaje de sedimentos siempre y cuando se presenten caudales elevados de vez en cuando, que aseguren la limpieza del colector.

Si se tienen pendientes elevadas, y no es posible cambiarlas debido a características topográficas, lo recomendable es tomar medidas de disipación de energía para evitar la erosión.

Velocidad mínima

Deben tomarse en cuenta dos consideraciones: la naturaleza del agua transportada y las características de los sólidos transportados por la misma. Por ejemplo, las aguas lluvias suelen arrastrar partículas sólidas de mayor tamaño que las aguas negras.

A pesar de que no existe un criterio unánime para fijar el valor de la velocidad mínima admisible en el diseño de colectores, existen dos opiniones en las cuales podemos basar nuestro estudio.

Manuel Gómez Valentín en el Seminario Español de Hidrología Urbana, sugiere los siguientes valores que pueden servir de referencia:

- La velocidad mínima para el caudal de proyecto será de 1 m/s .
- En colectores que también transporten aguas residuales, la velocidad de éstas deberá ser superior a 0.6 m/s .

Además, el Código Ecuatoriano de la Construcción en el año de 1992 propone la Norma CO 10.7 – 601 de Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Aguas Residuales en el Área Urbana, indica que la velocidad del líquido en los colectores, sean estos primarios, secundario o terciarios, bajo condiciones de caudal máximo instantáneo, en cualquier año del periodo de diseño, no sea menor que 0.45 m/s y que preferentemente sea mayor que 0.6 m/s para impedir la acumulación de gas sulfhídrico en el líquido.

Velocidad máxima

Es importante fijar un límite superior de velocidad en los colectores para evitar en lo posible, el deterioro de las juntas y de las paredes del colector debido a la acción erosiva que tiene el agua a altas velocidades. Entonces, se puede deducir que la velocidad máxima está en función del tipo de material del que esté hecho el colector, de esta manera el Código Ecuatoriano de la Construcción en el año de 1992 propone la Norma CO 10.7-601 de Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Aguas Residuales en el Área Urbana expone la siguiente tabla:

Tabla 2. Velocidades máximas a tubo lleno y coeficientes de rugosidad recomendados.

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
Hormigón simple con uniones de mortero	4	0.013
Hormigón simple con uniones de neopreno para NF alto	3.5 - 4	0.013
Asbesto cemento	4.5 - 5	0.011
Plástico	4.5	0.011

Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción Parte IX Obras Sanitarias, 1992.

2.5.3 Bases de Diseño

2.5.3.1 Período de Diseño

Un sistema de alcantarillado, debe proyectarse de manera que permita satisfacer las necesidades de la población. Ésta obra se proyectará para que trabaje correctamente de acuerdo al crecimiento estimado de la población y con la vida útil de los elementos a ser construida. Para determinar correctamente el periodo de diseño, al cual se le llamará “vida útil”, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Durabilidad de las estructuras e instalaciones.
- Calidad y técnicas constructivas.
- Condiciones externas tales como: desgaste y corrosión a que estarán sometidas.
- La capacidad hidráulica, que depende de los factores socio-económicos tanto como del crecimiento poblacional para satisfacer nuevas demandas.
- Facilidad o dificultad para hacer ampliaciones.
- Capacidad económica.

Para calcular el periodo óptimo de diseño y/o ampliación del componente de un sistema de alcantarillado, se considera que para los colectores principales o emisarios finales, el periodo de diseño mínimo debe ser 25 años, para cualquier nivel de complejidad del sistema. (Ref. 2.9).

Para el presente proyecto, se propone que para el diseño de colectores se utilice un factor de economía a escala de 0.43, debido a normativa ecuatoriana en vigencia (Ref. 2.10).

2.5.3.2 Coeficiente de Retorno

Este coeficiente asume el hecho de que no toda el agua consumida ya sea de origen domiciliario, comercial o industrial, es devuelta al alcantarillado, en razón de sus múltiples usos tales como riego, lavado de pisos, cocina, entre otros. Se puede establecer, entonces la siguiente formula:

$$k = \frac{\text{Agua descargada}}{\text{Agua consumida}} \cong 0.80$$

Dependiendo del nivel de vida de los habitantes se tiene que:

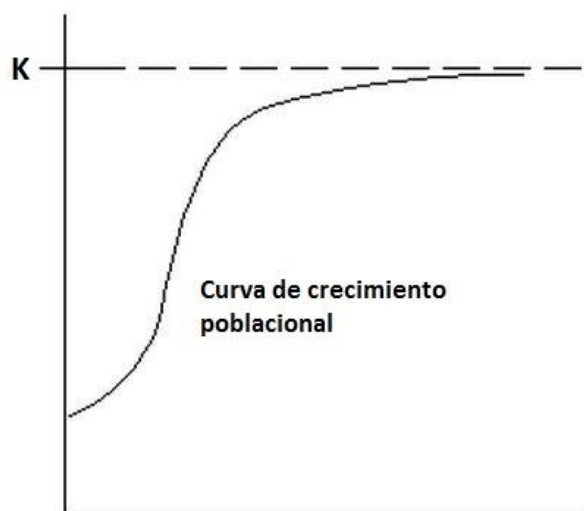
Agua descargada = 60-90%

Agua consumida = 80%

2.5.3.3 Población Futura de Diseño

A continuación se detalla el modelo recomendado para proyectos que presenten una superficie consolidada sin capacidad de crecimiento, con el que se observa que la naturaleza del crecimiento poblacional es logística. Esta función es parecida al crecimiento exponencial para tiempos cortos, ya que en ese caso el denominador es cercano a 1. Pero cuando el tiempo es grande, el término predominante en el denominador es $\frac{P_0}{K} * (e^{rt})$ y la función se acerca asintóticamente al valor K , donde K es la capacidad o carga máxima de habitantes para los recursos limitados disponibles. Una gráfica típica se presenta en la Figura No. 18.

Figura No. 18. Curva del Modelo Logístico de Crecimiento Poblacional



Fuente: Elaboración propia

Estimándose la población futura mediante el modelo:

$$P = \frac{P_0 e^{rt}}{1 + \frac{P_0}{K} * (e^{rt} - 1)}$$

Siendo:

P = Población futura

P_0 = Población inicial

K = Capacidad o carga máxima de habitantes para los recursos limitados disponibles

r = Tasa de crecimiento

t = Número de años para el intervalo

El crecimiento deberá comprobarse con los datos intercensados disponibles correspondientes a tiempos del momento del estudio, con la siguiente fórmula:

$$r = (n - m) + (i - e)$$

Dónde:

n = índice de natalidad

m = índice de mortalidad

i = índice de inmigración

e = índice de emigración

Basándonos en el último censo del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador, se obtuvieron los datos de población de la ciudad de Cuenca, así como su superficie urbana para poder determinar el índice de crecimiento. (Ref. 2.11)

Población Actual de Cuenca = 331888 habitantes

Superficie Urbana de Cuenca = 70.59 km²

Teniendo estos datos, podemos calcular la densidad poblacional de la siguiente manera:

$$D = \frac{\text{Población actual}}{\text{Superficie}}$$

2.5.3.4 Dotación

La dotación es la cantidad de agua que se asigna para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual, tomando en cuenta las pérdidas. En Cuenca la dotación estudiada según las necesidades de la población por la Empresa Pública ETAPA es de 250 lt/hab*día. (Ref. 2.12)

2.5.3.5 Caudal de Diseño

Para determinar el caudal de diseño de un sistema de alcantarillado combinado es necesario considerar los aportes debidos al gasto máximo horario de aguas residuales y el gasto de aguas pluviales o aguas lluvia.

$$Q_d = Q * M + Q_{LL}$$

Dónde:

Q_d = Caudal de diseño [lt/s].

Q = Caudal medio de agua residual [lt/s].

M = Factor de mayoración (máxima horaria).

Q_{LL} = Caudal de aguas de lluvia [lt/s].

2.5.3.6 Factor de Mayoración

A efectos de estimar el factor de mayoración, utilizamos la fórmula de Harmon a continuación:

$$M = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

Dónde:

M = factor de mayoración (máxima horaria).

P = población [*en miles*].

2.5.3.7 Caudal Medio de Aguas Residuales

Para obtener el caudal medio de agua residual se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{D * P * k}{86400}$$

Dónde:

Q = Caudal medio de agua residual [lt/s].

D = Dotación respectiva para el tipo de población [$lt/hab * día$].

P = Población.

k = coeficiente de retorno.

2.6 Cambios en los usos del suelo

En ésta sección se explican los cambios de uso en la tierra, brindando información esencial para el cálculo de sistemas de redes de alcantarillado. El enfoque se basa en la identificación de zonas que van desde bosques hasta la agricultura, pastizales y áreas urbanas, que han ido modificando su forma y su uso a lo largo del tiempo. Adicionalmente, se ofrecen mapas de crecimiento urbano como una guía para lo descrito como introducción a lo que fue y hoy es la ciudad de Cuenca.

2.6.1 Introducción histórica de Cuenca

La construcción de la red de alcantarillado en Cuenca ha sufrido un fuerte impulso en los últimos años, esto es debido al crecimiento residencial. Esta red de alcantarillado, que también drena aguas pluviales, fue proyectada en el año de 1934 sin disponer de criterios técnicos rigurosos referentes a hidráulica e hidrología.

El rápido crecimiento urbano generó graves déficit de infraestructuras civiles para el drenaje de la lluvia, lo que acarreo importantes problemas de enfermedades endémicas (Ref. 2.13). Es interesante describir el enfoque ambientalista del estudio de drenaje urbano, ligados a los caudales de aportación y a carga contaminante que son vertidas por la red de alcantarillado a un determinado medio receptor en tiempo de lluvia.

De esta manera, se hace un estudio que colabore a la realización de futuras infraestructuras de drenaje urbano en las que ha existido una gran evolución a lo largo de estos últimos 50 años, pero dadas los factores presentes y futuros tales como cambios en los usos del suelo, exagerado crecimiento urbano, normas municipales, etc.

2.6.2 Crecimiento Poblacional y Urbano de Cuenca

Cuenca mostraba un paisaje compuesto por poblados antiguos en el centro del valle interandino de la Sierra Sur ecuatoriana. En torno al pueblo se encontraban terrenos con fines agrícolas de los campesinos de la región, las laderas de los cerros dedicadas a la agricultura estaban combinadas en la parte más alta con densos bosques de pino y eucalipto, lo que dejaba entrever un medio ambiente en relativo equilibrio (Ref. 2.14).

Puede hablarse de una economía agrícola, que si bien estaba centrada en el maíz, era acompañada por el cultivo de una amplia gama de plantas; del manejo de una ganadería doméstica, y el desarrollo de especializaciones en oficios diversos como: alfareros, carpinteros, herreros, cobreros, tejedores, entre otros.

En el Anexo No. 1, puede observarse el crecimiento de Cuenca 1910 – 1949.

A mediados del siglo XX, Cuenca comienza a sufrir cambios drásticos en su estructura demográfica, alterando la conformación urbana.

“Cuenca a lo largo de estos últimos 60 años, ha estado regida por 3 planes de ordenamiento y una ordenanza con su respectiva actualización; los cuales nos ayudan a entender el cómo se fue conformando la ciudad en la modernidad” (Ref. 2.15).

Los planes y ordenanzas son los siguientes:

- 1947, Plan Regulador.
- 1971, Plan Director de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Cuenca.
- 1982, Plan de Desarrollo Urbano del Área Metropolitana de Cuenca.
- 1996, Ordenanza que sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca. Determinaciones para el uso y ocupación del suelo urbano.
- 2003, Reforma. Actualización, complementación y codificación de la Ordenanza que sanciona el Plan de Ordenamiento territorial del cantón Cuenca: Determinaciones para el uso y ocupación del suelo.
- La industrialización en los países va acrecentando el problema medioambiental al que se suma el vertido de agua residual industrial concentrada. A finales de los años 50, Cuenca era recién una ciudad naciente que contaba con 13 establecimientos industriales aproximadamente, los cuales podían ser considerados como industria debido a su capacidad de producción e infraestructura, esto es: la pasamanería. Cuenca se densifica en su núcleo central con el avance de los años y las influencias externas traídas por gente pudiente de la ciudad, de esta manera se divide en parcelas y viviendas cada vez con un área menor, mientras que las personas de altos recursos económicos empiezan a desplazarse hacia las áreas periféricas, especialmente al Ejido (donde se ubica nuestra área de estudio).

“El antiguo Ejido, que por costumbre se sigue llamando así, está cruzado por amplias Avenidas, siendo las principales las denominadas “3 de Noviembre”, “12 de Abril”, “Fray Vicente Solano” y “Loja”, todas las cuales muéstrense bordeadas de hermosas quintas, a cuyo alrededor los jardines hermosean el paisaje con la multiplicidad de sus flores que las mantiene en perpetua brotación el agua del Tomebamba, el Tarqui y el Yanuncay, los tres cantarines que enmarcan la pintoresca sección. Allí junto a los elegantes chalets se destacan notables edificios públicos tales como la Facultad de Medicina, el Colegio nacional “Benigno Malo”, el Hospital Civil “San Vicente de Paul”, el Hospital Militar, la Quinta Agronómica, la Quinta experimental Salesiana, el asilo “Tadeo Torres” y el amplio estadio municipal. Allí se levantará también la futura Ciudadela Universitaria, cuyo preludio es ya la construcción que llevase a cabo de varios pabellones en la juventud de mañana irá saciar su noble ansia de saber” (Ref. 2.16).

Además, el crecimiento de la ciudad de Cuenca se mantuvo cambiante tanto en la tipología, morfología y emplazamiento de las viviendas, dándose los siguientes casos:

- La conformación y dimensión de las manzanas cambiaron hasta la mitad del siglo XX, antes se mantenían de formas cuadriculares, pasando a ser irregulares.
- Las viviendas cambiaron su implantación y su distribución interna. En muchos hogares eliminaron el patio, el traspatio o patio trasero y la huerta, imitando viviendas del extranjero. De esta manera comienza la expansión poblacional.

Para el año de 1963, Cuenca amplía su área de consolidación a 757 ha, en donde se continúa albergando la mayor parte de instituciones públicas y privadas, instituciones financieras, casas de exportación e importación y otros organismos.

En el Anexo No. 2, puede observarse el crecimiento de Cuenca 1949 – 1963.

En la zona del Ejido surgen viviendas dispuestas en grandes lotes mayores a 100m² lo que permite tener una implantación aislada, rodeada de jardines, con un retiro frontal bastante amplio muy diferente a las viviendas del centro. El paisaje de las calles cambia completamente ya que antes estaban limitados por las fachadas.

En general, para esta época la ciudad se había transformado en un centro regional receptor de migrantes del campo, producida por varios factores tales como la política agraria mal ejecutada, lo que trajo consigo la demanda de infraestructuras en su mayoría las viviendas. Por lo que se trataron de cubrir las necesidades con programas habitacionales en lugares apartados para abaratar costos.

Al entrar a los años 70 el núcleo central fue la zona que más se desarrollaba. Las parcelas en lotes cuadriculados fueron cada vez más pequeñas, a los alrededores, el suelo se conformó de manzanas en forma de polígonos irregulares y de vías en formación para un creciente tráfico vehicular para las cuales las estrechas calles no estaban diseñadas. Surge un nuevo asentamiento de viviendas en el sector de la Av. Ordoñez Lasso, un sitio claramente diferenciable a los demás debido al gran tamaño de los terrenos y al emplazamiento sin adosamientos.

En el Anexo No. 3, puede observarse el crecimiento de Cuenca 1963 – 1974.

En la década de los 80 el crecimiento poblacional se disparó, llegando a que la ciudad tenga que triplicar su área. La municipalidad toma conciencia del cambio de suelo en el núcleo central o lo que ahora llamamos “centro histórico”, lo que provoca la restauración de varias plazas, dando lugar a museos e instalaciones hoteleras y turísticas. Se iniciaron varios programas habitacionales sin control alguno en todas

las direcciones, esto trajo consigo el déficit de servicios básicos y de equipamientos de recolección de residuos.

En el Anexo No. 4, puede observarse el crecimiento de Cuenca 1974 – 1984.

La traza de las parcelas en el núcleo urbano casi no sufre modificaciones en el periodo de 1984 – 1995, solo una consolidación de algunos lotes baldíos, y el establecimiento de la categoría de centro histórico. La periferia comienza a crecer alrededor de vías la ciudad se expande a través de la infraestructura vial principal, aparecen corredores de crecimiento, ejemplo de ello sería la Av. De las Américas. Este crecimiento provocaría el establecimiento de los edificios más altos de la ciudad, todo esto favorecido por las condiciones físicas que el suelo ofrece.

En el Anexo No. 5, puede observarse el crecimiento de Cuenca 1984 – 1995.

A partir del 95 en adelante no se registran mayores niveles de crecimiento poblacional ni de la periferia urbana, pero se hace un estudio sobre la evolución física que han tenido los ejes viales y su influencia en la conformación de la ciudad, y es que unas vías fueron más importantes que otras, clasificándolas como principales y secundarias.

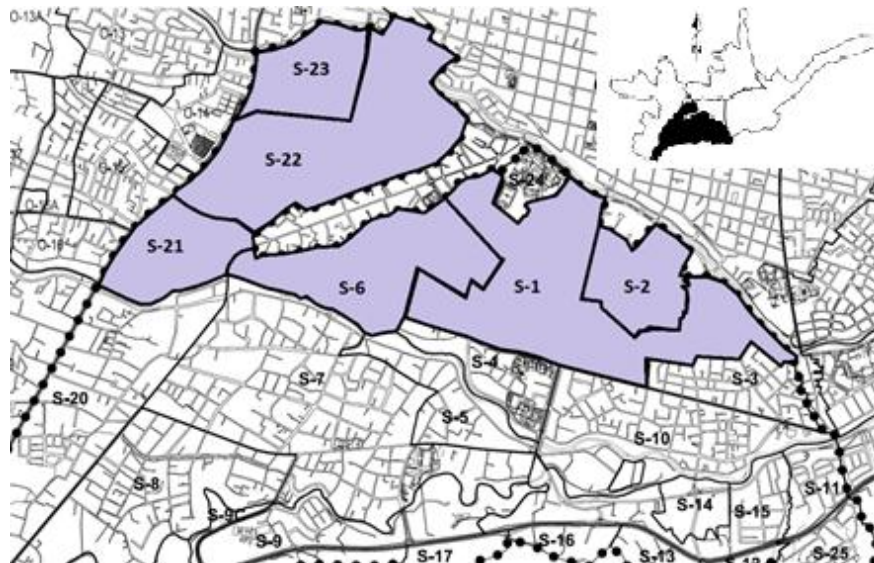
En los últimos 50 años Cuenca ha experimentado un crecimiento acelerado, provocando entre otras cosas la carencia de equipamientos, entre ellos, la falta de parques, especialmente los de tipo urbano, ya que los existentes no abastecen para la población que busca un área de recreación.

2.6.3 Usos futuros del suelo

Con el fin de establecer bases para la planificación sobre la expansión urbana, en el ámbito del uso y ocupación del suelo, el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca, establece varios criterios para dicha proyección.

Para la aplicación de esta Ordenanza en la Ciudad, ésta se encuentra dividida en 154 sectores (Ref. 2.17), las cuales incluyen predios con características físico-espaciales homogéneas. Para la ciudad de Cuenca, y en especial para el estudio a realizarse, se debe considerar el sector sur de la misma (Figura No. 19), la cual se encuentra dividida en sectores para su planeamiento (el área de estudio se encuentra detallada en el Capítulo 3.1.1). A continuación, se muestra la división de los mismos, así como los a ser utilizados, para el posterior análisis:

Figura No. 19. Ciudad de Cuenca, Sectores de Planeamiento Sur.



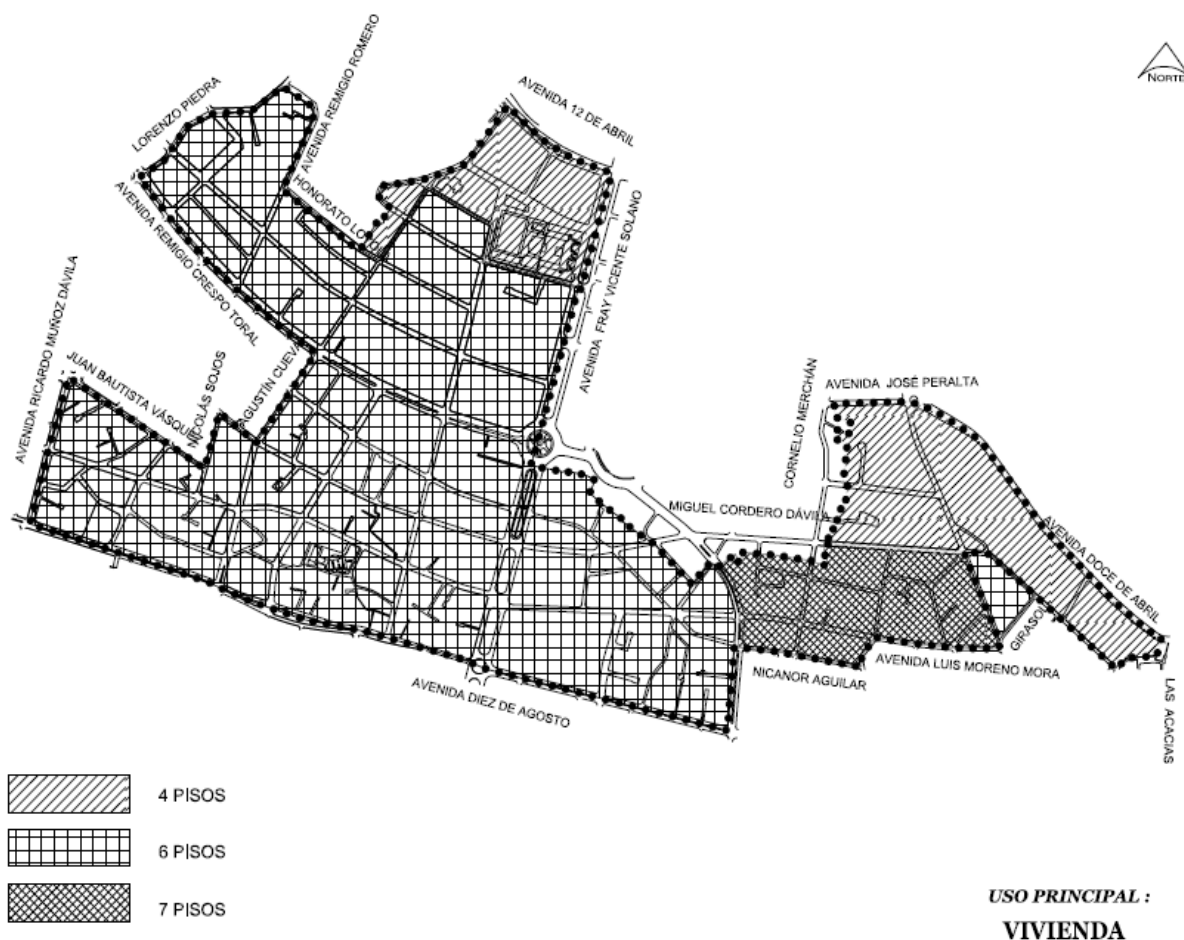
Fuente: Ordenanza, pág. 201

Como indica el gráfico, se puede observar que se debe tomar en consideración los sectores: S-1, S-2, S-3, S-21, S-22, S-23, ya que éstos forman parte del área de estudio; los cuales tendrán distintas características para los usos futuros del suelo.

A continuación se muestran las características de ocupación del suelo para los sectores de planeamiento sur:

Sector de Planeamiento S-1

Figura No. 20. Sector de planeamiento S-1.



El sector de planeamiento S-1, muestra las siguientes características:

Tabla 3. Características del sector de planeamiento S-1

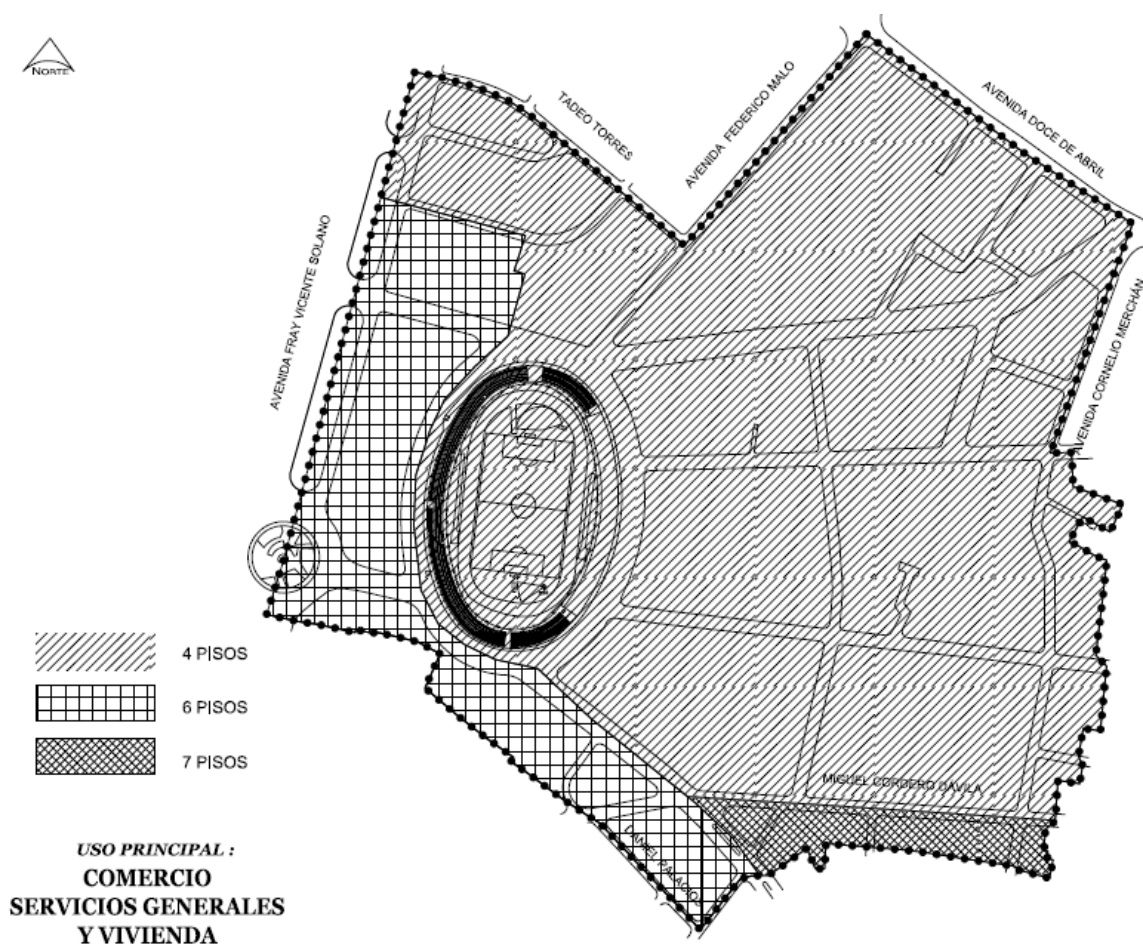
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN	LOTE MINIMO (m ²)	FRENTE MINIMO (m)	COS MAXIMO (%)	TIPO DE IMPLANTACION	RETIROS FRONTALES, LATERALES Y POSTERIORES DIMENSIONES MINIMAS (m)		
					F	L	P
1 o 2 pisos	300	12	80	Aislada con retiro frontal	5	3	3
3 o 4 pisos	300	12	75		5	3	3
5 o 6 pisos	500	18	75		5	4	4
7 pisos	900	25	70		6	6	6

Determinantes adicionales:

Las edificaciones de 5, 6 y 7 pisos se admitirán solamente en predios con frente a vías de anchos iguales o mayores a 12m.

Sector de Planeamiento S-2

Figura No. 21. Sector de planeamiento S-2.



El sector de planeamiento S-2, muestra las siguientes características:

Tabla 4. Características del sector de planeamiento S-2

ALTURA DE LA EDIFICACIÓN	LOTE MINIMO (m ²)	FRENTE MINIMO (m)	COS MAXIMO (%)	TIPO DE IMPLANTACION	RETIROS FRONTALES, LATERALES Y POSTERIORES DIMENSIONES MINIMAS (m)		
					F	L	P
1 o 2 pisos	300	12	80	Aislada con retiro frontal	5	3	3
3 o 4 pisos	300	12	75		5	3	3
5 o 6 pisos	500	18	75		5	4	4
7 pisos	900	25	70		6	6	6

Determinantes adicionales:

Las edificaciones de 5, 6 y 7 pisos se admitirán solamente en predios con frente a vías de anchos iguales o mayores a 12m.

Sector de Planeamiento S-6

Figura No. 22. Sector de planeamiento S-6.



USO PRINCIPAL :
VIVIENDA

El sector de planeamiento S-6, muestra las siguientes características:

Tabla 5. Características del sector de planeamiento S-6

ALTURA DE LA EDIFICACIÓN	LOTE MINIMO (m ²)	FRENTE MINIMO (m)	COS MAXIMO (%)	TIPO DE IMPLANTACION	RETIROS FRONTALES, LATERALES Y POSTERIORES DIMENSIONES MINIMAS (m)			RETIRO LATERAL DESDE 3° PISO O PISOS QUE SUPEREN LA ALTURA DE LAS EDIFICACIONES COLINDANTES
					F	L	P	
1 o 2 pisos	120	7	80	Continua con retiro frontal	5	3	3	-
3 o 4 pisos	300	12	75	Pareada con retiro frontal	5	3	3	3
5 o 6 pisos	500	18	75		5	4	4	4

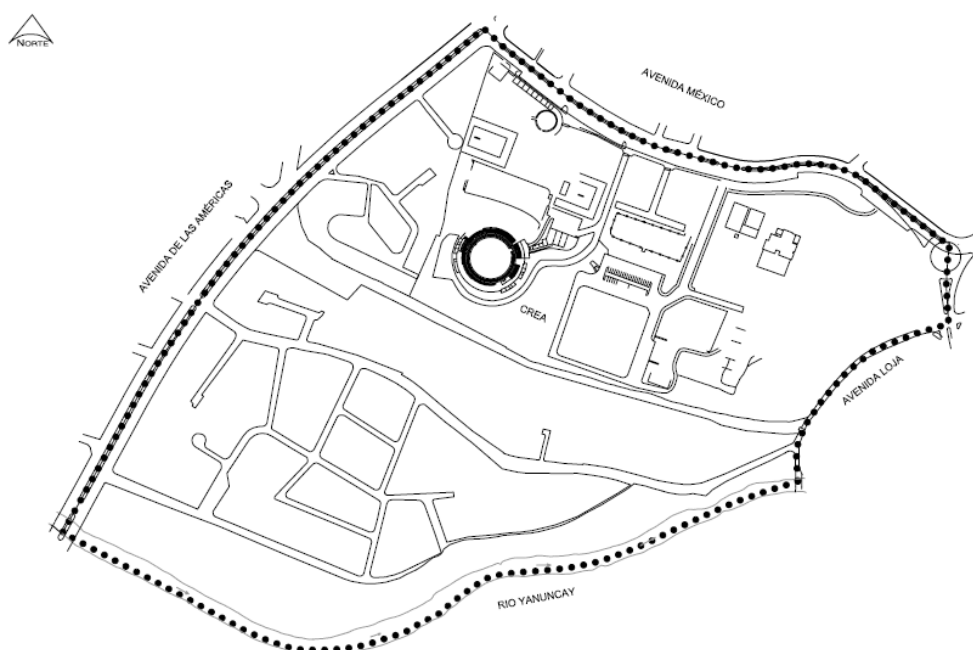
Fuente: ordenanza pág. 208

Determinantes adicionales:

Las edificaciones de 5 y 6 pisos se admitirán solamente en predios con frente a vías de anchos iguales o mayores a 12m. En los predios con frente a la Av. Lorenzo Piedra la altura máxima de la edificación será 4 pisos. En los predios comprendidos total o parcialmente en las franjas de 50m de ancho adyacentes a las márgenes de protección de ríos y/o quebradas existentes en este sector de planeamiento, con o sin vía por medio, la altura máxima de la edificación será de 4 pisos.

Sector de planeamiento S-21

Figura No. 23. Sector de planeamiento S-21.



USO PRINCIPAL :
VIVIENDA

El sector de planeamiento S-21, muestra las siguientes características:

Tabla 6. Características del sector de planeamiento S-21

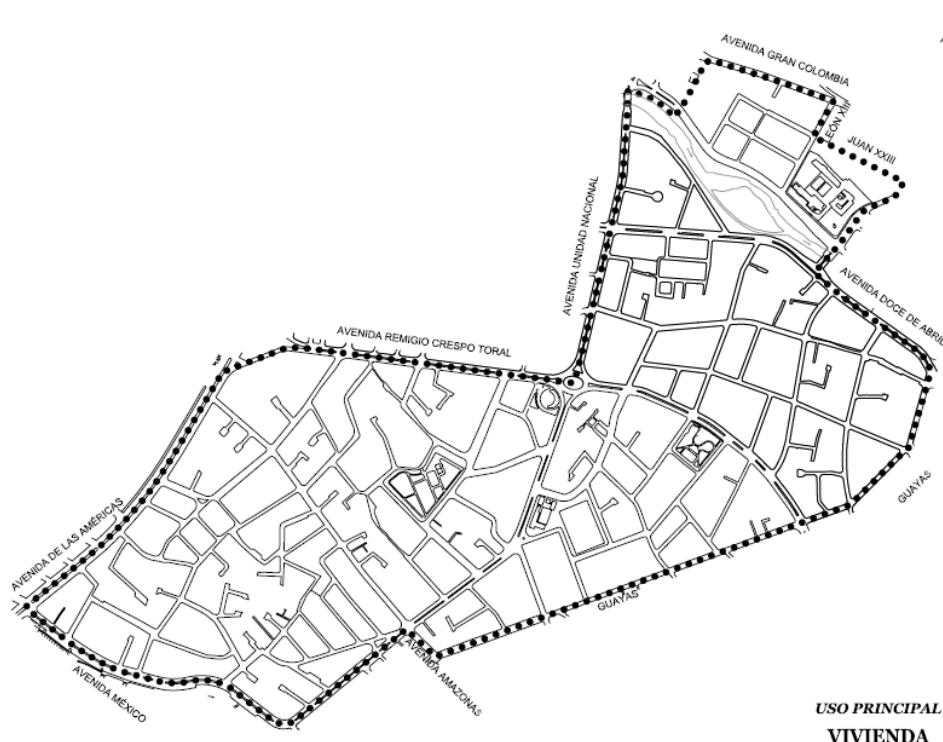
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN	LOTE MINIMO (m ²)	FRENTE MINIMO (m)	COS MAXIMO (%)	TIPO DE IMPLANTACION	RETIROS FRONTALES, LATERALES Y POSTERIORES DIMENSIONES MINIMAS (m)			RETIRO LATERAL DESDE 3° PISO O PISOS QUE SUPEREN LA ALTURA DE LAS EDIFICACIONES COLINDANTES
					F	L	P	
1 o 2 pisos	120	7	80	Continua con retiro frontal	5	3	3	-
3 o 4 pisos	300	12	75	Pareada con retiro frontal	5	3	3	3
5 o 6 pisos	500	18	75		5	4	4	4

Determinantes adicionales:

Las edificaciones de 5 y 6 pisos se admitirán solamente en predios con frente a vías de anchos iguales o mayores a 12m. En los predios comprendidos total o parcialmente en las franjas de 50m de ancho adyacentes a las márgenes de protección de ríos y/o quebradas existentes en este sector de planeamiento, con o sin vía por medio, la altura máxima de la edificación será de 4 pisos.

Sector de planeamiento S-22

Figura No. 24. Sector de planeamiento S-22.



El sector de planeamiento S-22, muestra las siguientes características:

Tabla 7. Características del sector de planeamiento S-22

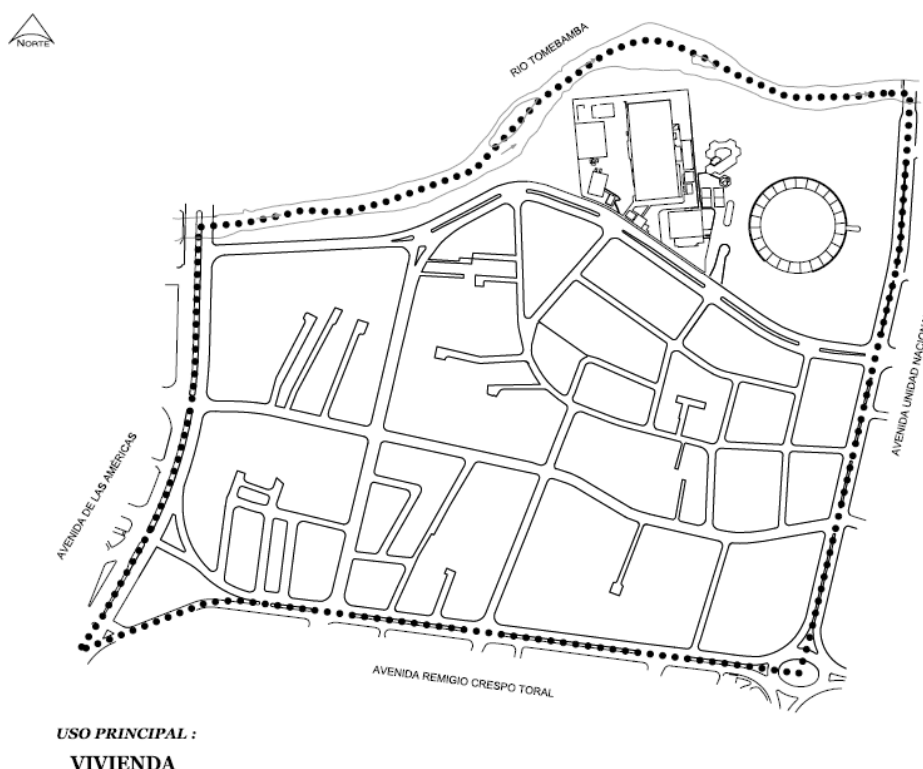
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN	LOTE MINIMO (m ²)	FRENTE MINIMO (m)	COS MAXIMO (%)	TIPO DE IMPLANTACION	RETIROS FRONTALES, LATERALES Y POSTERIORES DIMENSIONES MINIMAS (m)			RETIRO LATERAL DESDE 3° PISO O PISOS QUE SUPEREN LA ALTURA DE LAS EDIFICACIONES COLINDANTES
					F	L	P	
1 o 2 pisos	130	7	80	Continua con retiro frontal	5	3	3	-
3 o 4 pisos	300	12	75	Pareada con retiro frontal	5	3	3	3
5 o 6 pisos	500	18	75		5	4	4	4

Determinantes adicionales:

Las edificaciones de 5 y 6 pisos se admitirán solamente en predios con frente a vías de anchos iguales o mayores a 12m. En los predios con frente a la Av. Unidad Nacional y calle Guayas la altura máxima de la edificación será 4 pisos. En los predios comprendidos total o parcialmente en las franjas de 50 m de ancho adyacentes a las márgenes de protección de ríos y/o quebradas existentes en este sector de planeamiento, con o sin vía por medio, la altura máxima de la edificación será de 4 pisos.

Sector de planeamiento S-23

Figura No. 25. Sector de planeamiento S-23.



El sector de planeamiento S-23, muestra las siguientes características:

Tabla 8. Características del sector de planeamiento S-23

ALTURA DE LA EDIFICACIÓN	LOTE MINIMO (M)	FRENTE MINIMO (M)	COS MAXIMO (%)	TIPO DE IMPLANTACION	RETIROS FRONTALES, LATERALES Y POSTERIORES DIMENSIONES MINIMAS (M)		RETIRO LATERAL DESDE 3° PISO O PISOS QUE SUPEREN LA ALTURA DE LAS EDIFICACIONES COLINDANTES	RETIRO LATERAL DESDE 3° PISO O PISOS QUE SUPEREN LA ALTURA DE LAS EDIFICACIONES COLINDANTES PARA LA EDIFICACIÓN SIN RETIRO FRONTAL
					F	P	DIMENSION MINIMA (M)	DIMENSION MINIMA (M)
1 o 2 pisos	100	7	80-85	Continua con retiro frontal	5	3	-	-
3 o 4 pisos	300	12	75	Continua sin retiro frontal	5	3	3	3
5 o 6 pisos	450	16	75		5	4	4	4

Determinantes adicionales:

Las edificaciones de 5 y 6 pisos se admitirán solamente en predios con frente a vías de anchos iguales o mayores a 12m. En los predios comprendidos total o parcialmente en las franjas de 50 m de ancho adyacentes a las márgenes de protección de ríos y/o quebradas existentes en este sector de planeamiento, con o sin vía por medio, la altura máxima de la edificación será de 4 pisos.

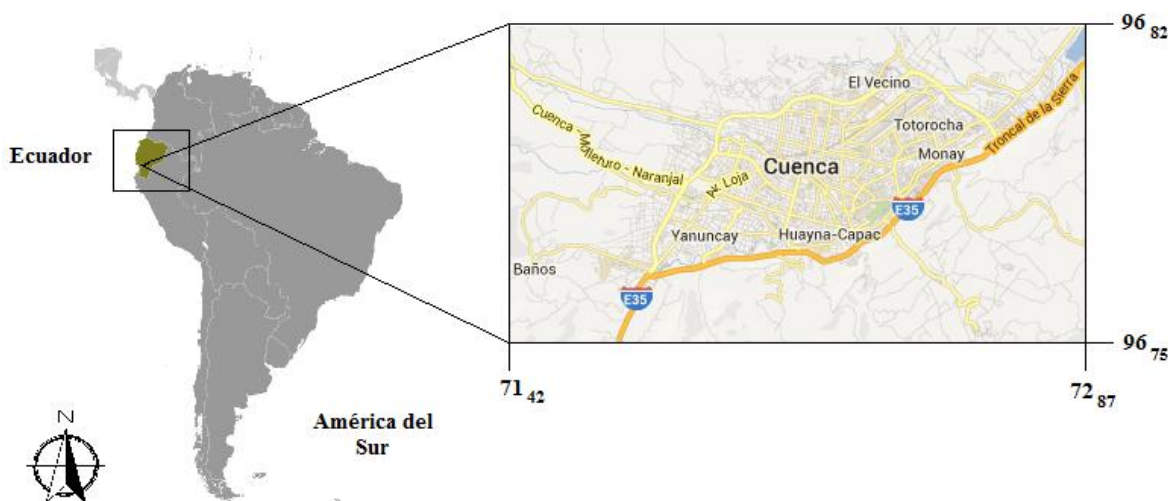
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Evaluación Hidráulica

3.1.1 Descripción del Área de Estudio

El cantón Cuenca es la capital de la provincia del Azuay, ubicada en la parte centro-sur de la República del Ecuador, con una altitud media de 2500 m sobre el nivel del mar. Posee una población de 329928 habitantes según el Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos en el año 2010, y en el último periodo intercensal ha experimentado una tasa de crecimiento anual del 2%. La Figura No. 26 muestra a detalle la ubicación del área general a ser estudiada.

Figura No. 26. Ubicación de la ciudad de Cuenca.

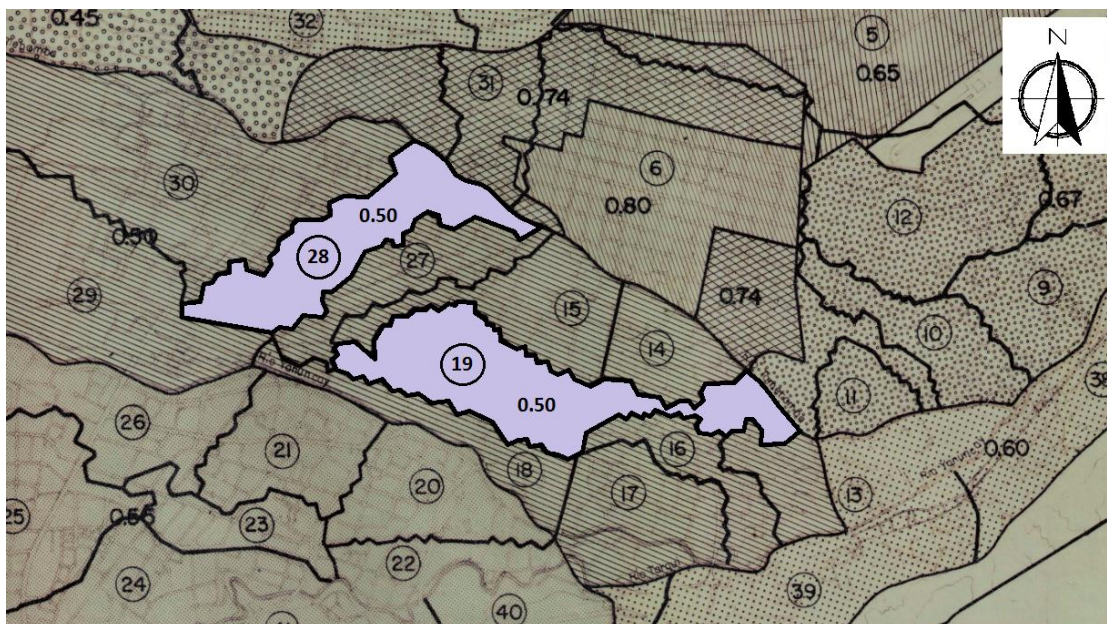


Fuente: Elaboración propia

En la Primera etapa del Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado para la ciudad de Cuenca del año 1986, se incluye el plano de “Subcuencas Pluviales y Áreas de Igual Impermeabilidad” proyectadas al año 2015, en el presente trabajo se consideran las áreas de estudio de los colectores de la Calle Arirumba y la Calle Imbabura, las áreas No. 19 y No. 28, respectivamente. La Figura No. 27, contiene información sobre los límites de las áreas de igual impermeabilidad, límites de las subcuencas, números de las subcuencas y sus correspondientes coeficientes de escorrentía para el año 2015. Los datos se pueden analizar con más detalle en el plano completo del Anexo No. 6.

Aunque los coeficientes de escorrentía se encuentran indicados para cada zona, no serán utilizados para nada más que para una comparación entre éstos y los recalculados en el este trabajo, como se detalla en el apartado 3.1.4, más adelante.

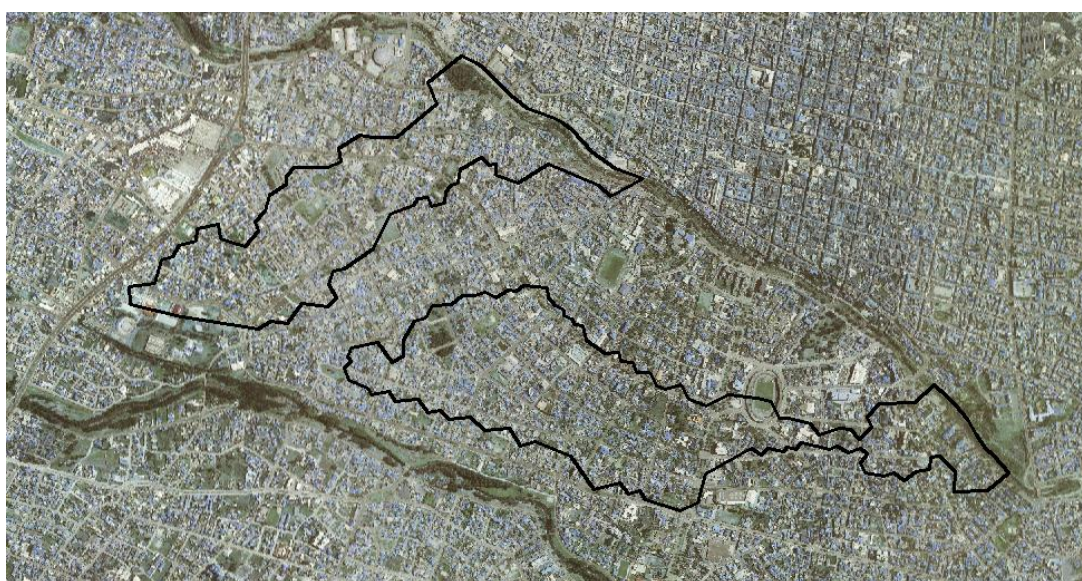
Figura No. 27. Áreas de Aporte de las Subcuencas de Estudio No. 19 y No. 28.



Fuente: Plano de Subcuencas Pluviales y Áreas de Igual Permeabilidad para el Año 2015, HIDROSERVICE INAM-OTECO, 1985

La superficie total del área de estudio es aproximadamente 162 ha., de las cuales 92 ha. pertenecen al área de estudio No. 19 y 70 ha. al área No. 28. A continuación en la Figura No. 28 se las emplaza en un levantamiento aerofotogramétrico del 2010.

Figura No. 28. Áreas de Aporte de las Cuencas de Estudio No. 19 y No. 28 en Plano Aerogramétrico del 2010.



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Recopilación de la información

Dentro de la recopilación de información, se ha revisado la información disponible en los catastros de la red de alcantarillado de ETAPA, en los levantamientos aerofotogramétricos de la ciudad de Cuenca obtenidos del Instituto Geográfico Militar y de la Ilustre Municipalidad de Cuenca, y en la Primera Etapa del Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado del Área Metropolitana de la Ciudad de Cuenca correspondientes al año 1986.

Este proyecto asume dos zonas a ser analizadas, las cuales corresponden a los colectores de las calles Arirumba e Imbabura; mediante inspecciones de campo se hace un reconocimiento de las vías existentes, así como el tipo de pavimento de las mismas y también se valora el grado de urbanización de la zona, tomando en cuenta las áreas consolidadas por casas, áreas verdes, patios de cemento; para de esta manera, poder tener una visión más acertada de los levantamientos aerofotogramétricos de las zonas.

A continuación se muestra un listado de la información revisada, así como del lugar donde se la obtuvo, para el desarrollo del presente trabajo:

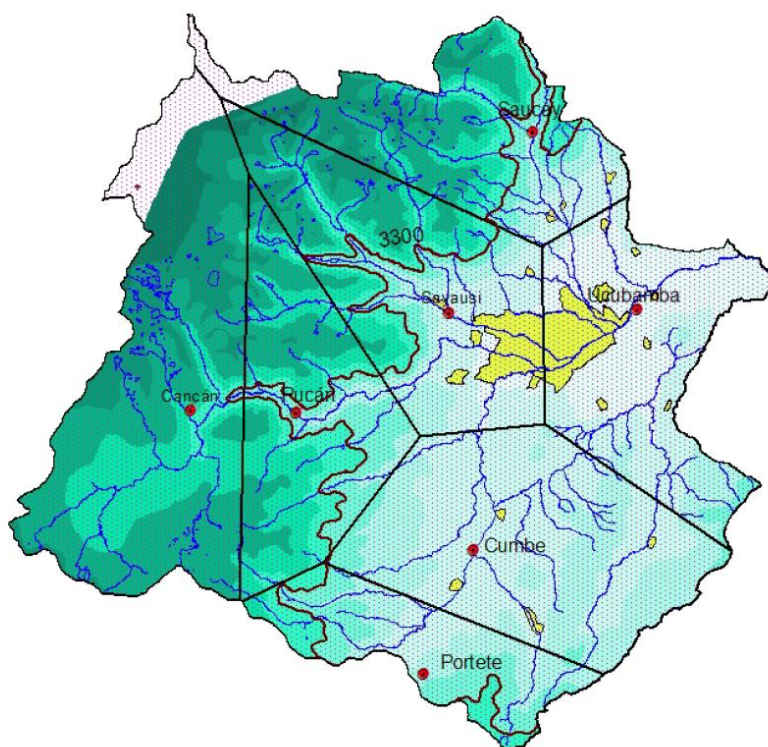
- Planos del Interceptor II (Margen derecha- Río Tomebamba), en la Unidad Ejecutora de ETAPA EP.
- Plano de Sistemas de Alcantarillado de la Ciudad de Cuenca, en la Unidad Ejecutora de ETAPA EP.
- Plano de Subcuencas pluviales y áreas de igual Impermeabilidad para el año 2015, en la Unidad Ejecutora de ETAPA EP.
- Planes maestros de agua potable y alcantarillado del área metropolitana de la ciudad de Cuenca, en la Unidad Ejecutora de ETAPA EP.
- Levantamientos aerofotogramétricos de la ciudad de Cuenca, correspondientes al año 1985, brindadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM).
- Levantamientos aerofotogramétricos de la ciudad de Cuenca, correspondientes al año 2010, brindadas por la Ilustre Municipalidad de Cuenca.
- Datos pluviométricos y curvas IDF, en la Planta de Tratamiento de Ucubamba (ETAPA EP.).
- Planos de calles y manzanas de la ciudad de Cuenca, en la Unidad Ejecutora de ETAPA EP.
- El Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca: Determinaciones para el uso y ocupación del suelo urbano, obtenido en la Ilustre Municipalidad de Cuenca.
- Áreas de aporte de los colectores, en ETAPA EP.

3.1.3 Estudio Pluviométrico

3.1.3.1 Disponibilidad de datos

Las estaciones pluviográficas existentes en la zona del proyecto y en sus inmediaciones están ilustradas en la Figura No. 29. Como se puede observar las estaciones más cercanas son la de Sayausí y la de Ucubamba, aunque existe la estación llamada Cuenca Aeropuerto que es la que vamos a tomar en este estudio como referencia para el cálculo de caudales.

Figura No. 29. Ubicación de estaciones pluviográficas dentro del Azuay.



Fuente: Informe de Lluvias Intensas Para Cuenca, ETAPA RHUP, 2008.

3.1.3.2 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

A continuación se muestran los valores de los parámetros A, B y C que intervienen en la fórmula para la elaboración de las curvas IDF, los cuales fueron tomados por ETAPA en el año 2008.

$$I = A(t + C)^B$$

Dónde:

I = Intensidad de lluvia [mm/hora].

t = Duración de la lluvia [min].

Tabla 9. Datos para la Elaboración de las Curvas IDF, Estación Cuenca Aeropuerto.

T (años)	5 min $\leq t \leq$ 60 min			60 min $\leq t \leq$ 1440 min		
	A	C	B	A	C	B
2	342.83	3.10	-0.6405	2521.5	45.00	-0.9989
3	366.29	3.00	-0.6164	3205.5	45.00	-1.0145
5	399.11	3.00	-0.5992	3985.5	45.00	-1.0273
10	436.25	2.90	-0.5902	5113.2	46.00	-1.0428
20	477.58	2.90	-0.5687	6264.1	47.00	-1.0548
50	531.84	2.90	-0.5574	7797.4	48.00	-1.0667
100	566.15	2.80	-0.5480	8854.0	48.00	-1.0719

Fuente: ETAPA RHUP, 2008

Las curvas IDF construidas con estos datos, se presentan en el Anexo No. 8, las que posteriormente se utilizarán en el cálculo de aportación de caudal de aguas lluvia para los colectores principales en estudio.

3.1.4 Cálculo del coeficiente de escorrentía

Para determinar los efectos que causa la urbanización y los cambios en los usos del suelo, así como la cobertura vegetal en la escorrentía superficial, se debe determinar el coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía mide la relación entre lo que cae y lo que escurre; su valor depende principalmente del grado de impermeabilidad de la superficie. A continuación se presentan los valores guías que se han tomado en cuenta para el cálculo del mismo.

Tabla 10. Valores de C para diferentes tipos de superficie.

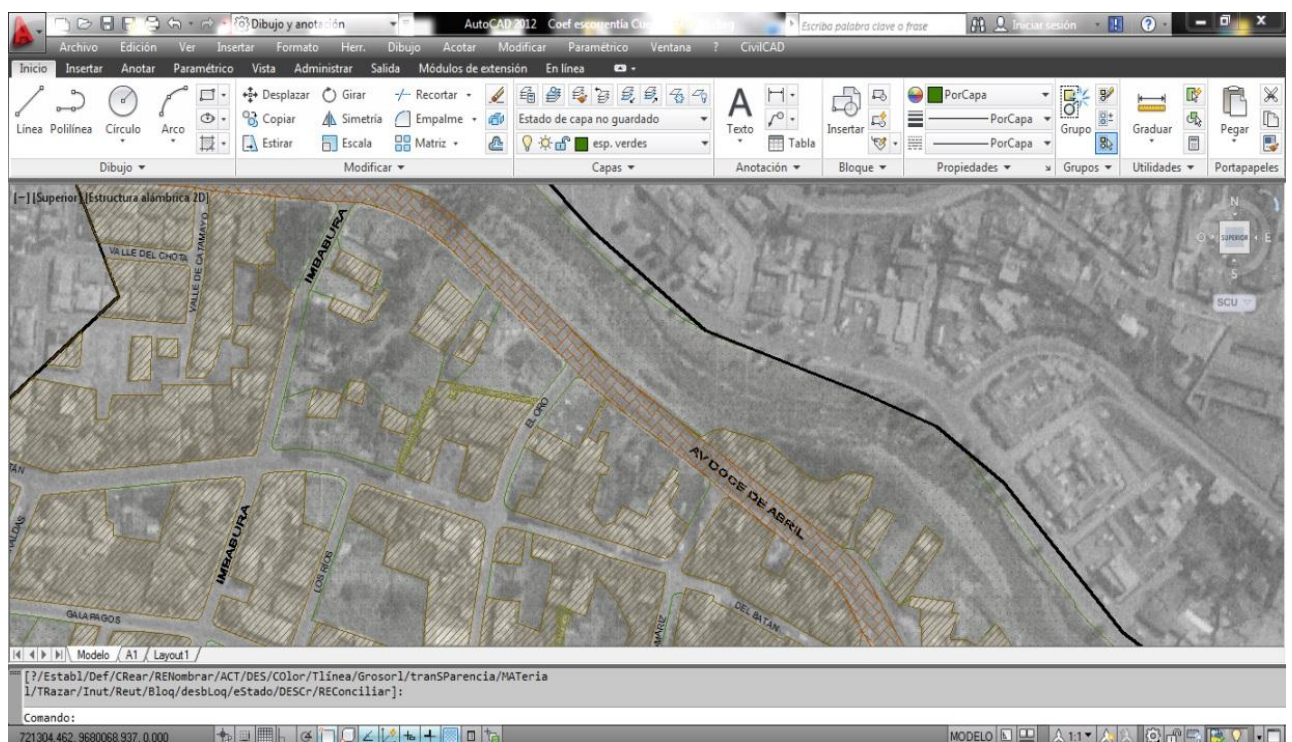
Tipos de Superficie	C	C utilizado
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85-0.9	0.88
Pavimentos de hormigón.	0.8-0.85	0.83
Empedrados (juntas ordinarias).	0.4-0.5	0.45
Superficies no pavimentadas.	0.1-0.3	0.2
Parques y jardines.	0.05-0.25	0.15

Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción Parte IX Obras Sanitarias, 1992.

Para la obtención del coeficiente de escorrentía se utilizaron levantamientos aerofotogramétricos en los cuales realizó una división en subcuencas a partir de una cuenca inicial, para que de esta manera se consiga un mayor grado de homogeneidad. Una vez realizada la subdivisión mediante el programa AUTOCAD 2012, sectorizando en base a los siguientes parámetros (Figura No. 30):

1. Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.
2. Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.
3. Pavimentos de hormigón.
4. Parques y jardines.
5. Empedrados (juntas ordinarias).
6. Superficies no pavimentadas.

Figura No. 30. División según tipos de superficie mediante la herramienta AutoCAD 2012.



Fuente: Elaboración propia.

Al terminar la sectorización y mediante el uso del software antes mencionado se obtuvo el área correspondiente a cada parámetro, el cual es muy importante para la obtención del coeficiente de escorrentía de la cuenca:

$$C = \frac{\sum \text{Área} * C}{\sum \text{Área}}$$

3.1.5 Cálculo de Caudales

El cálculo de caudales comprende dos fases; la primera es analizar el caudal de aguas residuales ligado directamente a la población y la segunda es considerar el caudal de aguas pluviales que el colector tenga que transportar ligado a la máxima

precipitación con varios periodos de retorno a considerarse. Por lo que el caudal total queda definido por la fórmula:

$$Q_d = Q * M + Q_{LL}$$

Dónde:

Q_d = Caudal de diseño [lt/s].

Q = Caudal medio de agua residual [lt/s].

M = Factor de mayoración (máxima horaria).

Q_{LL} = Caudal de aguas de lluvia [lt/s].

3.1.5.1 Cálculo de Caudal de Agua Residual

Para calcular el caudal de aguas residuales es necesario tener datos fijos como: la población, la dotación y el coeficiente de retorno. El primero se consigue directamente de los censos poblacionales que realiza el INEC, pero debido a que en este trabajo solamente se analiza una parte de la ciudad de Cuenca no se cuenta directamente con ese dato, por lo que fue necesario obtenerlo mediante la multiplicación de la densidad poblacional y el área. El segundo se puede obtener en base a los estudios realizados por ETAPA en relación a las necesidades de la población y el tercero se toma el valor de 0.8 por recomendación. (Ref. 3.1)

$$Q = \frac{D * P * k}{86400}$$

Dónde:

Q = Caudal medio de agua residual [lt/s].

D = Dotación respectiva para el tipo de población [lt/hab * día].

P = Población.

k = Coeficiente de retorno.

Cabe indicar que la población tiene que ser proyectada de acuerdo al periodo de diseño para obras de alcantarillado, en este caso sería de 25 años. Y se lo proyecta con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{P_o e^{rt}}{1 + \frac{P_o}{K} * (e^{rt} - 1)}$$

Siendo:

P = población futura

P_o = población inicial

r = tasa de crecimiento (2% según el INEC)

t = número de años para el intervalo

K = población máxima en zonas consolidadas

3.1.5.2 Cálculo de Caudal de Aguas Pluviales

Para obtener el caudal de aguas pluviales es preciso recurrir al Método Racional, en el cual se describe el caudal de la siguiente manera:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Dónde:

Q = Volumen o caudal de escorrentía [m^3/s].

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

I = Intensidad de la lluvia [mm/h].

A = Área de la vertiente o cuenca [ha].

En primer lugar se tiene que dividir al área tributaria en sub-áreas que representen un conjunto de ramales con una descarga en común, es decir, que la descarga sea una aportación al colector principal del cual se realice el cálculo. Los colectores de las calles Arirumba e Imbabura se han dividido en 60 y 45 sub-áreas respectivamente, las cuales se muestran en los planos de los Anexos No. 20 y 21. Seguidamente, se debe verificar cuál es el punto más lejano al punto final de descarga del colector, este servirá para enlistar los ramales de los cuales se va a obtener la sumatoria de tiempos de recorrido y posteriormente el caudal total.

Luego, se tiene que identificar el valor de la intensidad de la lluvia, para ello es necesario tomar el tiempo de concentración que consta de dos partes, el tiempo de entrada y el tiempo de flujo, el primero se toma 7 minutos para ciudades de tamaño semejante a la ciudad de Cuenca y el tiempo de flujo se lo obtiene con la siguiente fórmula, siendo el valor de la longitud igual al valor de la distancia de los ramales escogidos anteriormente como recorrido al punto más lejano.

$$Tf = \frac{L}{60 * v}$$

Dónde:

Tf = Tiempo de flujo o recorrido [min].

L = Longitud del tramo [m].

v = Velocidad del tramo [m/s].

Cuando ya se tiene el valor total del tiempo de concentración, el siguiente paso es recurrir a las tablas para la construcción de la curva IDF que se obtuvieron en el apartado 3.1.3.2 de la estación Cuenca Aeropuerto. Una vez que se establezcan los valores según el tiempo de concentración que se haya calculado, se reemplaza en la siguiente fórmula, obteniendo la intensidad.

$$I = A(t + C)^B$$

Dónde:

I = Intensidad de lluvia [$mm/hora$].

t = Duración de la lluvia [min].

A, B y C = Parámetros dados en las tablas.

Como segundo paso, se calcula el coeficiente de escorrentía para las áreas de los ramales de los cuales se obtuvo el punto más lejano, de la manera ya especificada en la unidad 3.1.4 y luego se hace una ponderación con cada uno de ellos para obtener un coeficiente de escorrentía general con la siguiente fórmula:

$$C_G = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2}{A_1 + A_2}$$

Dónde:

C_G = Coeficiente de escorrentía general (*adimensional*).

C_1, C_2 = Coeficientes de escorrentía pertenecientes a cada subcuenca (*adimensional*).

A_1, A_2 = Áreas de las subcuencas [ha].

3.2 Evaluación Física de los Colectores

En este apartado se hace referencia al estudio físico de los colectores, en el cual se analiza específicamente el estado en el que se encuentra el hormigón y el acero de refuerzo tanto de paredes, estructuras de derivación, losas superiores e inferiores y unidades de descarga. También se analiza el grado de erosión o daño que pueden afectar al correcto funcionamiento de del colector evaluado.

3.2.3 Colector de la Calle Arirumba

La descarga del colector de la calle Arirumba se encuentra ubicada al frente del “Parque Arqueológico de Pumapungo”, a una cuadra aguas arriba de la “Iglesia de El Vergel”. Al ingresar al colector se observa que la sección transversal es rectangular, con dimensión de 1.6x1.6 metros. Adicionalmente, en la Foto No. 1, se observa que en general el estado del colector es bueno, no hay erosiones significativas en las paredes o en la base. Aunque, bastante inusual fue el hallazgo de varios nidos de ave en ambas paredes del colector tal como se observa en la Foto No. 2.

En la Foto No. 3 se observa la tubería de abastecimiento de agua potable que cruza en forma perpendicular al colector, la misma que se encuentra descuidada debido a

la falta de limpieza del material acarreado en tiempos de lluvia. Además, la pared de la salida del agua residual hacia el interceptor se encuentra bastante erosionada debido a las altas velocidades de impacto que tienen los sólidos, como se muestra en la Foto No. 4.

El colector de la calle Arirumba cuenta con dos estructuras de derivación, hacia el Interceptor II. En la Foto No. 5 se puede observar la presencia de una piedra en el interior de la “cámara desarenadora”. No se sabe a ciencia cierta el origen de la misma.

Entre las dos estructuras de derivación existe una especie de “cámara desarenadora”, como se puede ver en la Foto No. 6, la cual sirve para sedimentar sólidos de gran tamaño y de esta manera evitar el paso de los mismos hacia el Interceptor II.

En la Foto No. 7, se muestra el completo deterioro de una parte de la losa superior, debido a un posible mantenimiento vial que se dio con en la superficie y al uso de maquinaria pesada.

Foto. 1. Entrada al colector de la Calle Arirumba.



Foto. 2. Pared del colector de la calle Arirumba.



Foto. 3. Vista Frontal del colector de la calle Arirumba.



Foto. 4. Descarga del colector de la calle Arirumba hacia el Interceptor II.



Foto. 5. Estructuras de derivación del colector de la calle Arirumba.



Foto. 6. Interior de la Cámara Desarenadora.



Foto. 7. Losa superior del colector de la calle Arirumba.



3.2.4 Colector de la Calle Imbabura

La descarga del colector de la calle Imbabura se encuentra ubicada al frente del colegio “Sagrados Corazones”, a una cuadra del redondel de intersección entre la calle Simón Bolívar y la Av. 12 de abril. La estructura de descarga permite observar la sección transversal en forma de baúl, la cual consta de forma de baúl, con dimensiones de 1.6x1.6 metros. Adicionalmente, en la Foto No. 8, se observa que el estado externo del colector es bueno, no hay erosiones significativas provocadas por las crecidas del río Tomebamba.

A aproximadamente 5 metros de la entrada del colector, se ubica una estructura derivadora de caudal que impide que el agua residual pase directamente al río, y la envía al Interceptor II con el fin de ser transportada a la planta de tratamiento de Ucubamba. En lluvias intensas cuando el caudal sobrepasa la altura del vertedero, el agua en exceso se descarga al río directamente

De igual manera las paredes sufrieron erosión debido al arrastre de sólidos con grandes caudales y a una velocidad alta. En la Foto No. 10 se pueden ver los cantos de las paredes sin mortero, debiendo estar la pared totalmente lisa.

Al observar la Foto No. 11, nos damos cuenta que el fondo del colector muestra signos de una fuerte erosión.

Foto. 8. Entrada al colector de la Calle Imbabura.



Foto. 9. Estructura de derivación de caudal.



Foto. 10. Pared del colector de la calle Imbabura.



Foto. 11. Base del colector de la Calle Imbabura.



4. RESULTADOS

4.1 Coeficiente de escorrentía (C)

Para la obtención del coeficiente de escorrentía se realizó una división en subcuencas a partir de las cuencas iniciales de los colectores de las calles Arirumba e Imbabura, para conseguir de esta manera un mayor grado de homogeneidad, ya que las características de la cuenca no son homogéneas.

A continuación se detalla el cálculo para la obtención de los coeficientes de escorrentía, correspondientes a las cuencas de las calles Arirumba e Imbabura para los años 1985 y 2010.

4.1.1 Cuenca del colector de la calle Arirumba, año 1985

La cuenca del colector de la calle Arirumba, presenta diferentes tipos de superficies las cuales se describen en seguida con su respectiva área.

Tabla 11. Áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 1985.

Tipo de Superficie	Área (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	29.09
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	13.70
Empedrados con juntas ordinarias	1.67

Superficies no pavimentadas	1.14
Pavimentos de hormigón.	7.96
Parques y jardines.	38.58

Fuente: Elaboración propia.

Área total de la cuenca colector Arirumba = 92.14 Ha.

Representando las áreas como un porcentaje total de la cuenca:

Tabla 12. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 1985.

Tipo de Superficie	Porcentaje (%)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	31.57
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	14.87
Empedrados con juntas ordinarias	1.81
Superficies no pavimentadas	1.24
Pavimentos de hormigón.	8.64
Parques y jardines.	41.87

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía:

Tabla 13. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 1985.

TIPO DE SUPERFICIE	ÁREA (Ha)	C	ÁREA*C (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	29.09	0.90	26.18
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	13.70	0.88	12.06
Empedrados con juntas ordinarias	1.67	0.45	0.75
Superficies no pavimentadas	1.14	0.20	0.23
Pavimentos de hormigón.	7.96	0.83	6.67
Parques y jardines.	38.58	0.15	5.79

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma \text{Área} = 92.14 \text{ Ha.}$$

$$\Sigma \text{Área} * C = 51.61 \text{ Ha.}$$

Utilizando la fórmula:

$$C = \frac{\Sigma \text{Área} * C}{\Sigma \text{Área}}$$

Dónde:

$$C = \frac{51.61 \text{ Ha}}{92.14 \text{ Ha}}$$

Finalmente, el coeficiente de escorrentía para la cuenca del colector de la calle Arirumba es:

$$C = 0.56$$

4.1.2 Cuenca del colector de la calle Imbabura, año 1985

La cuenca del colector de la calle Imbabura, presenta diferentes tipos de superficies las cuales se describen a continuación con su respectiva área.

Tabla 14. Área según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 1985.

Tipo de Superficie	Área (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	20.59
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	11.12
Pavimentos de hormigón.	1.78
Parques y jardines.	35.14
Superficies no pavimentadas	0.38
Empedrados (juntas ordinarias)	1.78

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Área total de la cuenca colector Imbabura} = 70.79 \text{ Ha.}$$

Representando las áreas como un porcentaje total de la cuenca:

Tabla 15. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 1985.

Tipo de Superficie	Porcentaje (%)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	29.08
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	15.71
Pavimentos de hormigón.	2.52
Parques y jardines.	49.64
Superficies no pavimentadas	0.52
Empedrados (juntas ordinarias)	2.52

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía:

Tabla 16. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 1985.

TIPO DE SUPERFICIE	ÁREA (Ha)	C	ÁREA*C (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	20.59	0.90	18.53
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	11.12	0.88	9.79
Pavimentos de hormigón.	1.78	0.83	1.48
Parques y jardines.	35.14	0.15	5.27
Superficies no pavimentadas	0.38	0.20	0.07
Empedrados (juntas ordinarias)	1.78	0.45	1.48

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma \text{Área} = 70.79 \text{ Ha}$$

$$\Sigma \text{Área} * C = 35.94 \text{ Ha}$$

Utilizando la fórmula:

$$C = \frac{\Sigma \text{Área} * C}{\Sigma \text{Área}}$$

Dónde:

$$C = \frac{35.94 \text{ Ha}}{70.79 \text{ Ha}}$$

Finalmente el coeficiente de escorrentía para la cuenca del colector de la calle Imbabura es:

$$C = 0.51$$

4.1.3 Cuenca del colector de la calle Arirumba, año 2010

La cuenca del colector de la calle Arirumba, presenta diferentes tipos de superficies las cuales se describen a continuación con su respectiva área.

Tabla 17. Área según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2010.

Tipo de Superficie	Área (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	31.29
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	19.86
Pavimentos de hormigón.	13.44
Parques y jardines.	27.55

Fuente: Elaboración propia.

Área total de la cuenca colector Arirumba = 92.14 Ha

Representando las áreas como un porcentaje total de la cuenca:

Tabla 18. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2010.

Tipo de Superficie	Porcentaje (%)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	33.96
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	21.56
Pavimentos de hormigón.	14.58
Parques y jardines.	29.90

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía:

Tabla 19. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2010.

TIPO DE SUPERFICIE	ÁREA (Ha)	C	ÁREA*C (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	31.29	0.9	28.16
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	19.86	0.88	17.48
Pavimentos de hormigón.	13.44	0.83	11.15
Parques y jardines.	27.55	0.15	4.13

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma \text{Área} = 92.14 \text{ Ha}$$

$$\Sigma \text{Área} * C = 60.93 \text{ Ha}$$

Utilizando la fórmula:

$$C = \frac{\Sigma \text{Área} * C}{\Sigma \text{Área}}$$

Dónde:

$$C = \frac{60.93 \text{ Ha}}{92.14 \text{ Ha}}$$

Finalmente el coeficiente de escorrentía para la cuenca del colector de la calle Arirumba es:

$$C = 0.66$$

4.1.4 Cuenca del colector de la calle Imbabura, año 2010

La cuenca del colector de la calle Imbabura, presenta diferentes tipos de superficies las cuales se describen a continuación con su respectiva área.

Tabla 20. Área según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2010.

Tipo de Superficie	Área (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	27.87
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	16.08
Pavimentos de hormigón.	6.12
Parques y jardines.	20.72

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Área total de la cuenca colector Imbabura} = 70.79 \text{ Ha}$$

Representando las áreas como un porcentaje total de la cuenca:

Tabla 21. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2010.

Tipo de Superficie	Porcentaje (%)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	39.38
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	22.71
Pavimentos de hormigón.	8.64
Parques y jardines.	29.27

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía:

Tabla 22. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2010.

TIPO DE SUPERFICIE	ÁREA (Ha)	C	ÁREA*C (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	27.87	0.90	25.08
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	16.08	0.88	14.15
Pavimentos de hormigón.	6.12	0.83	5.08
Parques y jardines.	20.72	0.15	3.11

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma \text{Área} = 70.79 \text{ Ha}$$

$$\Sigma \text{Área} * C = 47.42 \text{ Ha}$$

Utilizando la fórmula:

$$C = \frac{\Sigma \text{Área} * C}{\Sigma \text{Área}}$$

Dónde:

$$C = \frac{47.42 \text{ Ha}}{70.79 \text{ Ha}}$$

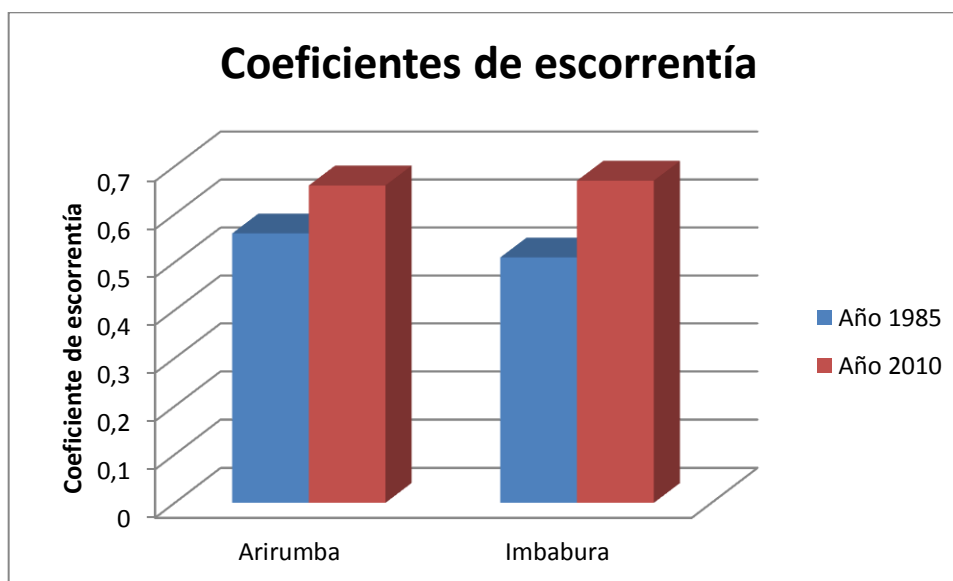
Finalmente el coeficiente de escorrentía para la cuenca del colector de la calle Imbabura es:

$$C = 0.67$$

4.2 Variación del coeficiente de escorrentía

Como ya se mencionó, cada uso y cobertura del suelo posee características de impermeabilidad distintas y en función de ello es también posible relacionarlos con coeficientes de escorrentía particulares para cada área de estudio (Figura No. 31).

Figura No. 31. Variación del coeficiente de escorrentía correspondiente a los años 1985 y 2010.



Fuente: Elaboración propia.

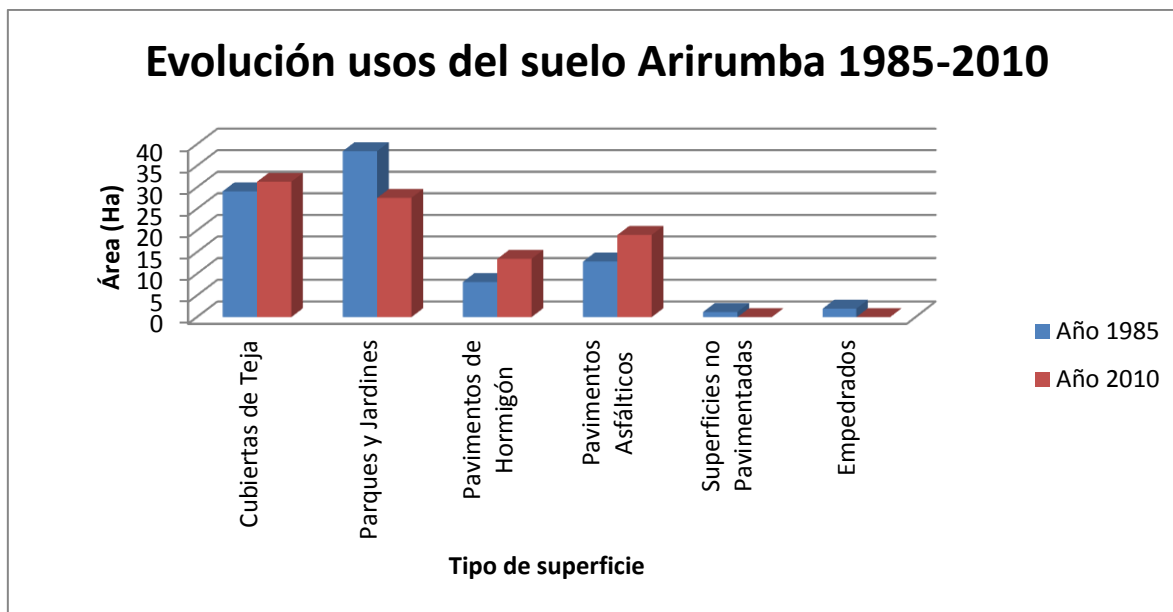
El gráfico anterior describe claramente como los coeficientes de escorrentía aumentan desde 1985 al 2010, lo que quiere decir, que cada vez se favorece más el escurrimiento superficial sobre la capacidad de infiltración de las aguas. En términos generales la escorrentía superficial aumenta debido a la impermeabilización del terreno.

El aumento del coeficiente de escorrentía mostrado en la Figura No. 31 implica, como ya se mencionó una ponderación de los distintos coeficientes de escorrentía por usos y cobertura del suelo, los cuales se han incrementado debido a la impermeabilización del suelo producido por el proceso urbanístico que se ha sucedido en la ciudad de Cuenca.

4.3 Evolución de los usos y coberturas del suelo

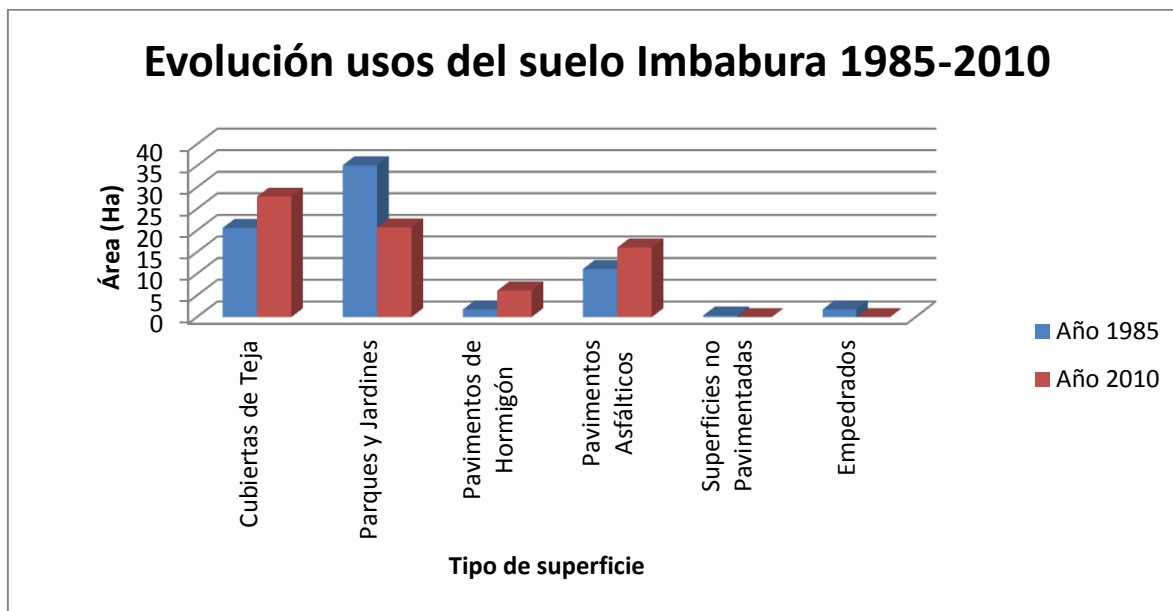
En las dos cuencas estudiadas, pertenecientes a los colectores de las calles Arirumba e Imbabura, ocurren fenómenos particularmente marcados y casi semejantes entre el año 1985 y el 2010. Estos fenómenos se encuentran ligados al aumento de las superficies urbanas y a la disminución de las superficies naturales (Figura No. 32 y 33).

Figura No. 32. Evolución de los usos del suelo del área de aporte del colector de la calle Arirumba 1985-2010.



Fuente: Elaboración propia.

Figura No. 33. Evolución de los usos del suelo del área de aporte del colector de la calle Imbabura 1985-2010.



Fuente: Elaboración propia.

La disminución de las superficies tales como parques y jardines registrada en el año 2010, se debe a la densificación producida por áreas residenciales. De igual manera, el incremento de áreas pavimentadas, está ligado al crecimiento urbanístico, ya que

los usuarios exigen una mayor calidad de servicios tanto de movilización como seguridad.

Existe un patrón singular en las dos áreas de estudio, respecto a la evolución de las áreas verdes conformadas por patios y jardines. En el cual se muestra un gran aumento de cobertura de vegetación dispersa, debido a que hay un importante proceso de degradación de superficies naturales de mayor índole. Esto hace que las áreas vegetadas cambien de clasificación y terminen transformándose tanto en áreas verdes remanentes dispersas o espacios abiertos de escasa o nula vegetación.

Como se puede evidenciar, en el caso de las dos áreas que fueron estudiadas, hubo un reemplazo absoluto de los empedrados (adoquín), por superficies pavimentadas; debido a que este produce una circulación vehicular incómoda, lo que se traduce en mayores costos de operación vehicular en relación con el pavimento asfáltico, provocando de esta manera un incremento de permeabilidad del terreno.

4.4 Cálculo del Caudal de Diseño Para Colectores

Como se mencionó anteriormente dicha investigación corresponde a dos colectores; el primer colector referente a la calle Arirumba está compuesto por 264 tramos, con un área tributaria de 97.61 Ha., y el segundo correspondiente a la calle Imbabura se encuentra conformado por 212 tramos y con un área tributaria de 58.44 Ha.; estos colectores pertenecen al sistema de alcantarillado combinado (Anexo No. 7), en donde, la recolección de aguas residuales será transportada por el Interceptor II (Anexo No. 9), para su posterior traslado a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba.

La primera consideración para la obtención del caudal de aguas combinadas, es definir el sentido en que se desea conducir el caudal de drenaje. Con la información del levantamiento topográfico, se pueden obtener las áreas tributarias correspondientes a cada tramo del colector a ser evaluado.

Como se indicó previamente, se debe contar con las áreas tributarias correspondientes a cada tramo del colector a ser evaluado, las cuales se utilizaron para el cálculo de caudal de aguas residuales y aguas lluvias. (Anexo No. 6).

En la siguiente tabla se presentan los valores de las áreas tributarias obtenidas mediante el software AutoCAD 2012, cuyo caudal se descarga en el colector de la calle Arirumba e Imbabura respectivamente.

Tabla 23. Áreas tributarias correspondientes al colector de la calle Arirumba.

No. Área Tributaria	Área (Ha)	No. Área Tributaria	Área (Ha)	No. Área Tributaria	Área (Ha)
1	0.76	21	0.54	41	0.30
2	0.91	22	0.75	42	1.51

3	1.34	23	1.57	43	0.54
4	0.41	24	0.60	44	4.33
5	4.92	25	0.40	45	2.73
6	1.70	26	0.58	46	0.85
7	0.84	27	1.98	47	0.83
8	0.98	28	0.41	48	0.61
9	1.31	29	4.40	49	5.29
10	0.40	30	0.24	50	6.61
11	1.38	31	4.11	51	0.37
12	0.25	32	0.56	52	1.18
13	0.67	33	0.87	53	0.51
14	0.58	34	1.85	54	0.13
15	1.06	35	4.44	55	0.78
16	0.78	36	0.22	56	0.11
17	11.39	37	0.62	57	0.29
18	0.90	38	0.39	58	0.36
19	0.65	39	0.58	59	1.36
20	3.46	40	0.42	60	3.55

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Áreas tributarias correspondientes al colector de la calle Imbabura.

No. Área Tributaria	Área (Ha)	No. Área Tributaria	Área (Ha)
1	0.030	23	4.005
2	1.148	24	0.514
3	0.232	25	0.521
4	0.299	26	6.261
5	2.835	27	0.045
6	0.661	28	1.213
7	2.757	29	1.987
8	0.567	30	2.679
9	0.699	31	0.425
10	9.832	32	1.262
11	0.289	33	0.003
12	4.771	34	0.003
13	0.831	35	0.004
14	1.324	36	0.004
15	3.645	37	0.004
16	0.597	38	0.004
17	0.811	39	0.004
18	1.568	40	0.004

19	0.666	41	0.004
20	2.267	42	0.004
21	0.562	43	1.383
22	1.194	44	0.332

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Caudal de Aguas Residuales

Parámetros de diseño para el caudal de aguas residuales.

4.4.1.1 Dotación

Para la ciudad de Cuenca, de acuerdo a las necesidades de la población se utiliza una dotación de 250 lt/hab * día (Ref. 2.12).

$$\text{Dotación para la ciudad de Cuenca} = 250 \text{ lt/hab} * \text{día}.$$

4.4.1.2 Coeficiente de retorno

El coeficiente de retorno a utilizarse según el nivel de vida de la población es el siguiente (Ref. 4.1).

$$\text{Coeficiente de retorno} = 0.80.$$

4.4.1.3 Densidad poblacional

Los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales deben diseñarse para la máxima densidad de la población futura o saturación, la cual depende del uso del suelo y el ordenamiento urbano.

La densidad poblacional se refiere al número promedio de habitantes de un área urbana en relación a una unidad de superficie dada. De acuerdo con lo enunciado en el literal 2.5.3.3 del presente trabajo, se tiene que:

$$\text{Población ciudad de Cuenca} = 331888 \text{ hab.}$$

$$\text{Superficie de la ciudad de Cuenca} = 70.59 \text{ km}^2.$$

Por lo tanto,

$$\text{Densidad poblacional ciudad de Cuenca} = \frac{331888 \text{ hab}}{70.59 \text{ km}^2}$$

$$\text{Densidad poblacional ciudad de Cuenca} = 4702 \text{ hab/km}^2.$$

4.4.1.4Área tributaria

El valor del área tributaria es medido según los planos urbanísticos y de levantamientos topográficos del terreno. Para la de dicha área de los dos colectores a ser estudiados, se utilizó la herramienta AutoCAD 2012, la cual nos brindó los siguientes resultados:

$$\text{Área tributaria colector Arirumba} = 0.97 \text{ km}^2.$$

$$\text{Área tributaria colector Imbabura} = 0.58 \text{ km}^2.$$

4.4.1.5Período de diseño

Para colectores principales o emisarios finales se considera un período de diseño de 25 años, en virtud de los inconvenientes y costos de ampliaciones para recibir caudales mayores (Ref. 2.10).

4.4.1.6Población futura

La determinación de la población futura es el punto base para la realización de cualquier tipo de diseño. Específicamente para proyectos de acueductos y alcantarillado, el dato que se obtenga de dicha población permite establecer el caudal de diseño de descarga al colector, claramente este valor va a ser relativamente pequeño en comparación con el caudal de aguas pluviales.

De ante mano, se debe conocer la población que comprende el área de aporte de cada colector, por lo tanto:

$$\text{Población área tributaria Arirumba} = 4702 \text{ hab/km}^2 * 0.97 \text{ km}^2$$

$$\text{Población actual área tributaria Arirumba} = 4561 \text{ hab.}$$

$$\text{Población área tributaria Imbabura} = 4702 \text{ hab/km}^2 * 0.58 \text{ km}^2$$

$$\text{Población actual área tributaria Imbabura} = 2727 \text{ hab.}$$

Para el cálculo del caudal que va a aportar hacia el colector, se debe tener en cuenta primeramente el período de diseño del mismo, el cual es 25 años; por lo tanto se debe proyectar la población para dicho tiempo de la siguiente manera:

$$P = \frac{P_0 e^{rt}}{1 + \frac{P_0}{K} * (e^{rt} - 1)}$$

Ante todo, es necesario fijar el valor de K como máxima población para zonas con recursos limitados disponibles. Para ello se tomará como hipótesis un crecimiento límite del 40% de la población actual, teniendo en cuenta que por medio de los censos realizados por el INEC en los últimos 25 años el crecimiento poblacional de la ciudad de Cuenca oscila entre el 28-70%.

$$K = \text{Población máxima Arirumba} = 4561 * 1.4 = 6385 \text{ hab.}$$

$$\text{Población Arirumba año 2035} = \frac{4561 e^{0.02*25}}{1 + \frac{4561}{6385} * (e^{0.02*25} - 1)}$$

$$\text{Población Arirumba año 2035} = 5138 \text{ hab.}$$

$$K = \text{Población máxima Imbabura} = 2727 * 1.4 = 3818 \text{ hab.}$$

$$\text{Población Imbabura año 2035} = \frac{2727 e^{0.02*25}}{1 + \frac{2727}{3818} * (e^{0.02*25} - 1)}$$

$$\text{Población Imbabura año 2035} = 3072 \text{ hab.}$$

4.4.1.7 Factor de mayoración de Harmon

Con base a lo afirmado en el literal 2.5.3.6, se calculó el factor de mayoración con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

Dónde:

M = factor de mayoración (máxima horaria).

P = población [en miles].

Para el área de aporte del colector de la calle Arirumba se tiene:

$$M \text{ Arirumba año 2010} = \frac{18 + \sqrt{(4531/1000)}}{4 + \sqrt{(4531/1000)}}$$

$$\mathbf{M \text{ Arirumba año 2010} = 3.28}$$

$$M \text{ Arirumba año 2035} = \frac{18 + \sqrt{(5138/1000)}}{4 + \sqrt{(5138/1000)}}$$

$$\mathbf{M \text{ Arirumba año 2035} = 3.23}$$

Para el área de aporte del colector de la calle Imbabura se tiene:

$$M \text{ Imbabura año 2010} = \frac{18 + \sqrt{(2727/1000)}}{4 + \sqrt{(2727/1000)}}$$

$$\mathbf{M \text{ Imbabura año 2010} = 3.48}$$

$$M \text{ Imbabura año 2035} = \frac{18 + \sqrt{(3072/1000)}}{4 + \sqrt{(3072/1000)}}$$

$$\mathbf{M \text{ Imbabura año 2035} = 3.43}$$

4.4.1.8 Caudal medio de aguas residuales

Para obtener el caudal medio de agua residual se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{D * P * k}{86400}$$

Dónde:

Q = Caudal medio de agua residual [lt/s].

D = Dotación respectiva para el tipo de población [lt/hab * día].

P = Población.

k = Coeficiente de retorno.

Para el área de aporte del colector de la calle Arirumba se tiene:

$$Q_{\text{Arirumba año 2010}} = \frac{250 \text{ lt/hab} * \text{día} * 4561 \text{ hab} * 0.8}{86400}$$

$$Q_{\text{Arirumba año 2010}} = 10.56 \text{ lt/s} = 0.01056 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_{\text{Arirumba año 2035}} = \frac{250 \text{ lt/hab} * \text{día} * 5138 \text{ hab} * 0.8}{86400}$$

$$Q_{\text{Arirumba año 2035}} = 11.89 \text{ lt/s} = 0.01189 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Para el área de aporte del colector de la calle Imbabura se tiene:

$$Q_{\text{Imbabura año 2010}} = \frac{250 \text{ lt/hab} * \text{día} * 2727 \text{ hab} * 0.8}{86400}$$

$$Q_{\text{Imbabura año 2010}} = 6.31 \text{ lt/s} = 6.31E - 3 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_{\text{Imbabura año 2035}} = \frac{250 \text{ lt/hab} * \text{día} * 3072 \text{ hab} * 0.8}{86400}$$

$$Q_{\text{Imbabura año 2035}} = 7.11 \text{ lt/s} = 7.11E - 3 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios para la obtención del caudal de aguas residuales, se procede a realizar el cálculo del mismo, el cual será para los años 2010 y 2035.

Caudal de aguas residuales para el colector de la calle Arirumba

$$Q * M = \text{Caudal de aguas residuales colector Arirumba año 2010} = 10.56 \text{ lt/s} * 3.28$$

$$\text{Caudal de aguas residuales colector Arirumba año 2010} = 34.64 \text{ lt/s} = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q * M = \text{Caudal de aguas residuales colector Arirumba año 2035} = 11.89 \text{ lt/s} * 3.23$$

$$\text{Caudal de aguas residuales colector Arirumba año 2035} = 38.41 \text{ lt/s} = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Caudal de aguas residuales para el colector de la calle Imbabura

$$Q * M = \text{Caudal de aguas residuales colector Imbabura año 2010} = 6.31 \text{ lt/s} * 3.48$$

$$\text{Caudal de aguas residuales colector Imbabura año 2010} = 21.96 \text{ lt/s} = 0.022 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q * M = \text{Caudal de aguas residuales colector Imbabura año 2035} = 7.11 \text{ lt/s} * 3.43$$

$$\text{Caudal de aguas residuales colector Imabura año 2035} = 24.39 \text{ lt/s} = 0.024 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Como se puede observar, el caudal de aguas residuales no experimenta una gran variación en su valor, debido a que el área de estudio es una zona casi consolidada y por lo tanto su capacidad de expansión es mínima, es por esto, que la población tendrá un límite de crecimiento; y como el caudal de aguas residuales es directamente proporcional a la población, la variación del mismo será casi nula conforme el paso de los años hasta que la zona llegue a consolidarse en su totalidad.

4.4.2 Caudal de Aguas Pluviales

Parámetros de diseño para el caudal de aguas pluviales

4.4.2.1 Período de retorno

El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, etc. La selección del mismo se encuentra asociado con las características e importancia del área de

estudio. Para dicho este trabajo se utilizarán períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años.

4.4.2.2 Tiempo de concentración

El cálculo del tiempo de entrada es muy complejo, ya que depende de varios factores para su obtención. Por lo tanto para dicha investigación, se tomará un tiempo de entrada de 7 minutos, como se lo indicó en el literal 2.4.3.1.

El tiempo de flujo se lo obtiene a partir, de la longitud y velocidad del tramo a ser analizado, mediante la siguiente fórmula:

$$T_f = \frac{L}{60 * V}$$

Finalmente para el cálculo del tiempo de concentración, se debe escoger el mayor tiempo que dure en llegar una gota de agua, desde el punto más lejano hasta la descarga final del colector. Por lo tanto tendremos lo siguiente:

Tabla 25. Tiempos de concentración del colector de la calle Arirumba.

No. Área Tributaria Colector Arirumba	T_c acumulado (min)
49	10.73
35	13.26
33	13.49
32	13.90
30	14.08
26	14.33
25	14.56
24	14.90
19	15.21
18	15.58
16	15.97
15	16.19
14	16.43
13	16.84
12	16.96
10	17.19
9	17.71
6	18.92
4	19.04
3	19.57

2	19.78
1	20.27

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Tiempos de concentración del colector de la calle Imbabura.

No. Área Tributaria Colector Imbabura	T_c acumulado (min)
26	8.04
25	8.44
24	8.93
21	9.57
14	10.55
13	10.72
12	10.85
12	11.07
11	11.22
8	11.44
6	11.62
4	13.62
1	13.66

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3 Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia)

Para la intensidad de la precipitación se trabajó con la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia citada en el literal 3.1.3.2 del presente trabajo, para lo cual se tomaron períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años.

Tabla 27. Intensidad para varios periodos de retorno del colector de la calle Arirumba.

No. Área Tributaria Colector Arirumba	I_2 años (mm/h)	I_5 años (mm/h)	I_{10} años (mm/h)	I_{20} años (mm/h)	I_{50} años (mm/h)
49	63.74	83.06	93.36	108.11	124.00
35	57.23	75.06	84.43	98.13	112.77
33	56.72	74.42	83.73	97.34	111.88
32	55.84	73.34	82.52	95.99	110.36
30	55.46	72.87	82.00	95.40	109.69
26	54.96	72.25	81.30	94.63	108.82
25	54.51	71.69	80.68	93.92	108.02
24	53.83	70.85	79.74	92.87	106.84
19	53.25	70.13	78.94	91.97	105.82

18	52.58	69.30	78.01	90.93	104.65
16	51.89	68.45	77.06	89.86	103.45
15	51.51	67.97	76.54	89.27	102.78
14	51.09	67.46	75.96	88.63	102.05
13	50.42	66.62	75.02	87.57	100.86
12	50.22	66.37	74.75	87.27	100.52
10	49.86	65.93	74.25	86.70	99.88
9	49.06	64.93	73.14	85.45	98.47
6	47.31	62.75	70.72	82.72	95.39
4	47.15	62.55	70.49	82.46	95.09
3	46.44	61.67	69.51	81.36	93.84
2	46.16	61.32	69.12	80.92	93.35
1	45.55	60.56	68.27	79.96	92.26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Intensidad para varios periodos de retorno del colector de la calle Imbabura.

No. Área Tributaria Colector Imbabura	$I_{2 \text{ años}}$ (mm/h)	$I_{5 \text{ años}}$ (mm/h)	$I_{10 \text{ años}}$ (mm/h)	$I_{20 \text{ años}}$ (mm/h)	$I_{50 \text{ años}}$ (mm/h)
26	73.22	94.67	123.22	122.53	140.18
25	71.57	92.66	119.86	120.04	137.39
24	69.69	90.36	117.38	117.18	134.19
21	67.42	87.58	112.92	113.73	130.31
14	64.26	83.71	107.03	108.91	124.90
13	63.77	83.10	106.07	108.15	124.05
12	63.39	82.63	105.35	107.57	123.40
12	62.74	81.84	104.14	106.59	122.29
11	62.33	81.34	103.39	105.96	121.59
8	61.73	80.60	102.28	105.04	120.55
6	61.24	79.99	101.42	104.29	119.70
4	56.43	74.07	92.98	96.90	111.38
1	56.36	73.97	92.85	96.78	111.25

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.4 Área tributaria y Coeficiente de escorrentía

A continuación se muestran las siguientes tablas que indican tanto el área como el coeficiente de escorrentía de cada subcuenca, los cuales influirán de manera directa en el cálculo del caudal de aguas pluviales.

Tabla 29. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2010.

No. Área Tributaria colector Arirumba	T_c acumulado (min)	Área acumulada (Ha)	C
49	10.73	5.29	0.66
35	13.26	9.72	0.64
33	13.49	10.59	0.64
32	13.90	11.15	0.64
30	14.08	11.38	0.64
26	14.33	11.97	0.64
25	14.56	12.37	0.65
24	14.90	12.97	0.65
19	15.21	13.62	0.65
18	15.58	14.52	0.65
16	15.97	15.30	0.65
15	16.19	16.36	0.65
14	16.43	16.94	0.65
13	16.84	17.61	0.65
12	16.96	17.86	0.65
10	17.19	18.26	0.65
9	17.71	19.57	0.64
6	18.92	21.27	0.65
4	19.04	21.68	0.64
3	19.57	23.02	0.64
2	19.78	23.93	0.63
1	20.27	24.69	0.64

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2010.

No. Área Tributaria colector Imbabura	T_c acumulado (min)	Área acumulada (Ha)	C
26	8.04	0.52	0.80
25	8.44	1.04	0.83
24	8.93	5.04	0.68
21	9.57	7.31	0.70
14	10.55	8.63	0.71
13	10.72	9.46	0.72
12	10.85	9.89	0.73
12	11.07	10.54	0.74

11	11.22	10.83	0.74
8	11.44	11.40	0.75
6	11.62	12.06	0.74
4	13.62	12.36	0.73
1	13.66	12.39	0.73

Fuente: Elaboración propia.

Después de haber determinado todos los parámetros para la obtención del caudal de aguas pluviales, se procede a calcular el mismo mediante el método racional americano descrito en el literal 2.4.3.1, el cual propone la siguiente fórmula para su obtención:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Dónde:

Q = Volumen o caudal de escorrentía [m^3/s].

C = Coeficiente de escorrentía [*adimensional*].

I = Intensidad de la lluvia [mm/h].

A = Área de la vertiente o cuenca [ha].

Tabla 31. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Arirumba, año 2010.

No. Área Tributaria Colector Arirumba	$Q_{2 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{5 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{10 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{20 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{50 \text{ años}}$ (m^3/s)
49	0.62	0.80	0.90	1.05	1.20
35	0.99	1.30	1.46	1.70	1.95
33	1.07	1.40	1.58	1.83	2.11
32	1.11	1.46	1.65	1.91	2.20
30	1.13	1.49	1.67	1.95	2.24
26	1.18	1.55	1.74	2.02	2.33
25	1.22	1.60	1.80	2.09	2.41
24	1.26	1.66	1.87	2.17	2.50
19	1.30	1.72	1.93	2.25	2.59
18	1.37	1.81	2.04	2.37	2.73

16	1.43	1.88	2.12	2.47	2.85
15	1.53	2.02	2.27	2.65	3.05
14	1.56	2.06	2.32	2.71	3.12
13	1.60	2.11	2.37	2.77	3.19
12	1.62	2.14	2.41	2.81	3.24
10	1.65	2.18	2.46	2.87	3.30
9	1.71	2.27	2.55	2.98	3.44
6	1.80	2.39	2.69	3.15	3.64
4	1.83	2.42	2.73	3.19	3.68
3	1.90	2.52	2.84	3.32	3.83
2	1.94	2.58	2.91	3.40	3.93
1	1.99	2.64	2.98	3.49	4.02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Imbabura, año 2010.

No. Área Tributaria Colector Imbabura	$Q_{2 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{5 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{10 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{20 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{50 \text{ años}}$ (m^3/s)
26	0.08	0.11	0.14	0.14	0.16
25	0.17	0.22	0.29	0.29	0.33
24	0.66	0.86	1.12	1.11	1.28
21	0.96	1.25	1.61	1.63	1.86
14	1.10	1.43	1.82	1.86	2.13
13	1.21	1.58	2.01	2.05	2.35
12	1.27	1.65	2.11	2.15	2.47
12	1.35	1.77	2.25	2.30	2.64
11	1.39	1.81	2.30	2.36	2.70
8	1.46	1.90	2.41	2.48	2.84
6	1.52	1.99	2.52	2.59	2.97
4	1.42	1.87	2.35	2.44	2.81
1	1.42	1.87	2.34	2.44	2.81

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Caudal de diseño

El caudal de diseño para la descarga de los colectores de las calles Arirumba e Imbabura es igual a la suma del caudal de aguas residuales y el caudal de aguas pluviales. En las siguientes tablas se puede observar dicho caudal para los distintos colectores, con su respectivo período de diseño.

$$Q_d = Q * M + Q_{LL}$$

Tabla 33. Caudales totales para varios periodos de retorno, año 2010.

PERIODO DE RETORNO	COLECTOR	$Q * M$ (m^3/s)	Q_{LL} (m^3/s)	Q_d (m^3/s)
2 años	Arirumba	0.035	1.99	2.03
	Imbabura	0.022	1.42	1.44
5 años	Arirumba	0.035	2.64	2.68
	Imbabura	0.022	1.87	1.89
10 años	Arirumba	0.035	2.98	3.02
	Imbabura	0.022	2.34	2.36
20 años	Arirumba	0.035	3.49	3.53
	Imbabura	0.022	2.44	2.46
50 años	Arirumba	0.035	4.02	4.06
	Imbabura	0.022	2.81	2.83

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Usos Futuros del Suelo, año 2035

4.5.1 Proyección del Coeficiente de Escorrentía año 2035

4.5.1.1 Cuenca del colector de la calle Arirumba, año 2035

La cuenca del colector de la calle Arirumba, presenta diferentes tipos de superficies las cuales se describen a continuación con su respectiva área.

Tabla 34. Áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2035.

Tipo de Superficie	Área (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	43.11
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	17.65
Pavimentos de hormigón.	14.50
Parques y jardines.	16.89

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Área total de la cuenca colector Arirumba} = 92.14 \text{ Ha}$$

Representando las áreas como un porcentaje total de la cuenca:

Tabla 35. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Arirumba, año 2035.

Tipo de Superficie	Porcentaje (%)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	46.78
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	19.15

Pavimentos de hormigón.	15.74
Parques y jardines.	18.33

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía:

Tabla 36. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2035.

TIPO DE SUPERFICIE	ÁREA (Ha)	C	ÁREA*C (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	43.11	0.90	38.80
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	17.65	0.88	15.53
Pavimentos de hormigón.	14.50	0.83	12.04
Parques y jardines.	16.89	0.15	2.53

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma \text{Área} = 92.14 \text{ Ha}$$

$$\Sigma \text{Área} * C = 68.90 \text{ Ha}$$

Utilizando la fórmula:

$$C = \frac{\Sigma \text{Área} * C}{\Sigma \text{Área}}$$

Dónde:

$$C = \frac{68.90 \text{ Ha}}{92.14 \text{ Ha}}$$

Finalmente el coeficiente de escorrentía para la cuenca del colector de la calle Arirumba es:

$$C = 0.75$$

4.5.1.2 Cuenca del colector de la calle Imbabura, año 2035

La cuenca del colector de la calle Imbabura, presenta diferentes tipos de superficies las cuales se describen a continuación con su respectiva área.

Tabla 37. Áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2035.

Tipo de Superficie	Área (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	37.62
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	16.08
Pavimentos de hormigón.	6.28
Parques y jardines.	10.81

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Área total de la cuenca colector Imbabura} = 70.79 \text{ Ha}$$

Representando las áreas como un porcentaje total de la cuenca:

Tabla 38. Porcentaje de áreas según el tipo de superficie del colector de la calle Imbabura, año 2035.

Tipo de Superficie	Porcentaje (%)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	53.14
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	22.71
Pavimentos de hormigón.	8.87
Parques y jardines.	15.27

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía:

Tabla 39. Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2035.

TIPO DE SUPERFICIE	ÁREA (Ha)	C	ÁREA*C (Ha)
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada.	37.62	0.90	33.86
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones.	16.08	0.88	14.15
Pavimentos de hormigón.	6.28	0.83	5.21
Parques y jardines.	10.81	0.15	1.62

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma \text{Área} = 70.79 \text{ Ha}$$

$$\Sigma \text{Área} * C = 54.84 \text{ Ha}$$

Utilizando la fórmula:

$$C = \frac{\Sigma \text{Área} * C}{\Sigma \text{Área}}$$

Dónde:

$$C = \frac{54.84 \text{ Ha}}{70.79 \text{ Ha}}$$

Finalmente el coeficiente de escorrentía para la cuenca del colector de la calle Arirumba es:

$$C = 0.77$$

4.5.2 Proyección del Caudal de Diseño de Colectores para 25 años

En esta unidad es necesario obtener dos valores; el caudal de aguas residuales y el caudal de aguas pluviales proyectados al año 2035. El primer caudal se lo obtuvo en el literal 4.4.1 y a continuación se realiza el cálculo del segundo caudal para los dos colectores en estudio.

4.5.2.1 Caudal de aguas pluviales, año 2035

Es preciso recalcar que el periodo de retorno, el tiempo de concentración y la superficie de las subcuencas se mantienen constantes por lo tanto la intensidad también lo haría.

A continuación se muestran las siguientes tablas que indican tanto el área como el coeficiente de escorrentía de cada subcuenca, los cuales influirán de manera directa en el cálculo del caudal de aguas pluviales.

Tabla 40. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Arirumba, año 2035.

No. Área Tributaria colector Arirumba	T_c acumulado (min)	Área acumulada (Ha)	C
49	10.73	5.29	0.75
35	13.26	9.72	0.73
33	13.49	10.59	0.73
32	13.9	11.15	0.73
30	14.08	11.38	0.73
26	14.33	11.97	0.73
25	14.56	12.37	0.74

24	14.9	12.97	0.74
19	15.21	13.62	0.74
18	15.58	14.52	0.74
16	15.97	15.3	0.74
15	16.19	16.36	0.74
14	16.43	16.94	0.74
13	16.84	17.61	0.74
12	16.96	17.86	0.74
10	17.19	18.26	0.74
9	17.71	19.57	0.73
6	18.92	21.27	0.74
4	19.04	21.68	0.73
3	19.57	23.02	0.73
2	19.78	23.93	0.72
1	20.27	24.69	0.73

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Área tributaria y coeficiente de escorrentía del colector de la calle Imbabura, año 2035.

No. Área Tributaria colector Arirumba	T_c acumulado (min)	Área acumulada (Ha)	C
26	8.04	0.52	0.92
25	8.44	1.04	0.95
24	8.93	5.04	0.78
21	9.57	7.31	0.80
14	10.55	8.63	0.82
13	10.72	9.46	0.83
12	10.85	9.89	0.84
12	11.07	10.54	0.85
11	11.22	10.83	0.85
8	11.44	11.4	0.86
6	11.62	12.06	0.85
4	13.62	12.36	0.84
1	13.66	12.39	0.84

Fuente: Elaboración propia.

Después de haber determinado todos los parámetros para la obtención del caudal de aguas pluviales, se procede a calcular el mismo mediante el método racional americano descrito en el literal 2.4.3.1, el cual propone la siguiente fórmula para su obtención:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Dónde:

Q = Volumen o caudal de escorrentía [m^3/s].

C = Coeficiente de escorrentía [*adimensional*].

I = Intensidad de la lluvia [mm/h].

A = Área de la vertiente o cuenca [ha].

Tabla 42. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Arirumba, año 2035.

No. Área Tributaria Colector Arirumba	$Q_{2 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{5 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{10 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{20 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{50 \text{ años}}$ (m^3/s)
49	0.70	0.91	1.03	1.19	1.37
35	1.14	1.50	1.69	1.96	2.25
33	1.23	1.62	1.82	2.12	2.43
32	1.28	1.68	1.89	2.19	2.52
30	1.29	1.70	1.91	2.23	2.56
26	1.35	1.77	1.99	2.32	2.67
25	1.38	1.82	2.04	2.38	2.74
24	1.43	1.88	2.12	2.47	2.84
19	1.49	1.96	2.20	2.57	2.95
18	1.56	2.06	2.32	2.70	3.11
16	1.63	2.15	2.42	2.82	3.24
15	1.73	2.28	2.57	2.99	3.45
14	1.77	2.34	2.64	3.08	3.54
13	1.82	2.40	2.71	3.16	3.64
12	1.84	2.43	2.74	3.19	3.68
10	1.87	2.47	2.78	3.24	3.74
9	1.97	2.60	2.93	3.42	3.95
6	2.06	2.73	3.08	3.60	4.15
4	2.09	2.78	3.13	3.66	4.22

3	2.19	2.90	3.27	3.83	4.42
2	2.26	3.00	3.38	3.96	4.57
1	2.30	3.05	3.44	4.03	4.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Caudales para varios periodos de retorno del colector de la calle Imbabura, año 2035.

No. Área Tributaria Colector Arirumba	$Q_{2 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{5 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{10 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{20 \text{ años}}$ (m^3/s)	$Q_{50 \text{ años}}$ (m^3/s)
26	0.10	0.13	0.16	0.16	0.19
25	0.19	0.25	0.32	0.32	0.37
24	0.79	1.03	1.33	1.33	1.53
21	1.11	1.44	1.85	1.87	2.14
14	1.25	1.63	2.07	2.12	2.43
13	1.36	1.78	2.26	2.31	2.65
12	1.42	1.85	2.35	2.41	2.76
12	1.50	1.96	2.48	2.55	2.92
11	1.53	2.00	2.53	2.61	2.99
8	1.60	2.09	2.64	2.73	3.13
6	1.68	2.20	2.78	2.87	3.29
4	1.59	2.09	2.61	2.73	3.14
1	1.59	2.09	2.62	2.74	3.15

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.2 Caudal de diseño

Se procede a calcular la descarga final mediante la siguiente fórmula:

$$Q_d = Q * M + Q_{LL}$$

Dónde:

Q_d = Caudal de diseño [lt/s].

Q = Caudal medio de agua residual [lt/s].

M = Factor de mayoración (máxima horaria).

Q_{LL} = Caudal de aguas de lluvia [lt/s].

Tabla 44. Caudales totales para un periodo de retorno de 2 años, año 2035

PERIODO DE RETORNO	COLECTOR	$Q * M$ (m^3/s)	Q_{LL} (m^3/s)	Q_d (m^3/s)
2 años	Arirumba	0.038	2.3	2.34

	Imbabura	0.024	1.59	1.61
5 años	Arirumba	0.038	3.05	3.09
	Imbabura	0.024	2.09	2.11
10 años	Arirumba	0.038	3.44	3.48
	Imbabura	0.024	2.62	2.64
20 años	Arirumba	0.038	4.03	4.07
	Imbabura	0.024	2.74	2.76
50 años	Arirumba	0.038	4.65	4.69
	Imbabura	0.024	3.15	3.17

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En relación a los planos del trazado de las redes de alcantarillado de los colectores de las calles Arirumba e Imbabura que fueron brindados por ETAPA para la realización de este proyecto, se encontraron desafortunadamente inconclusos debido a que algunos pozos de revisión no contaban con sus cotas respectivas. En consecuencia, fue necesario tomar como referencia planos topográficos de las áreas tributarias para aproximar estas elevaciones.

El sistema de drenaje urbano en la ciudad de Cuenca ha sufrido una gran evolución a lo largo de la historia, la razón principal para dicha evolución es debido a los problemas de diferente índole que se presentan. El rápido crecimiento que ha presentado la ciudad de Cuenca, ha modificado tanto el uso, como la ocupación del suelo, provocando de ésta manera una impermeabilización del mismo, así como la saturación de los viejos e infradimensionados sistemas de drenaje en períodos de lluvia.

Las variaciones del coeficiente de escorrentía superficial en las dos zonas de estudio anteriormente mencionadas, dentro del período 1985-2010, demuestran que las intervenciones realizadas por el hombre han producido un aumento en el cambio del coeficiente de escorrentía, ligado a la presencia de usos de suelo urbano sobre espacios más reducidos y mayormente impactados por el emplazamiento de viviendas, servicios e infraestructuras en general.

Se pudo identificar que en el año 1985, la cobertura de suelo que mayor influencia ejerció en las variaciones del coeficiente de escorrentía superficial fue la densa vegetación; a diferencia del año 2010, en el cual la variación de dicho coeficiente, ocurrió principalmente por el cambio de usos en el suelo, debido al crecimiento de la ciudad de Cuenca.

Se puede observar claramente que la variación del coeficiente de escorrentía de los años 2010 y 2035 no aumenta de manera significativa y por lo tanto el caudal de diseño para la descarga de los colectores presenta el mismo comportamiento, esto se debe a que las dos áreas de estudio cuentan con varios espacios verdes tales como parques o jardines, los cuales no pueden ser eliminados para una posible impermeabilización debido a la “Ordenanza Municipal Para el Uso y Ocupación del Suelo Urbano de la Ciudad de Cuenca”, la cual exige retiros para cualquier tipo de implantación en el suelo, y a su vez éstos serán utilizados como jardines.

El caudal de aguas residuales utilizado para el cálculo del caudal de diseño de los colectores, presenta un cambio insignificante en su valor, debido a que las dos áreas de estudio son zonas casi consolidadas y por lo tanto su capacidad de expansión es mínima y como el caudal de aguas residuales es directamente proporcional a la población, la variación del mismo será casi nula conforme el paso de los años hasta que la zona llegue a consolidarse en su totalidad.

Para los colectores de las calles Arirumba e Imbabura, la descarga máxima que estos perciben es de $11.80 \text{ m}^3/\text{s}$ y $10.57 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente y si se compara con los resultados de los caudales de diseño obtenidos para los años 2010 y 2035 con distintos periodos de retorno, se puede evidenciar que los colectores se encuentran sobredimensionados; es decir, no se necesita realizar ningún cambio en las dimensiones de los mismos.

5.2 Recomendaciones

Debido a la dificultad para obtener la información requerida del Primer Plan Maestro, se recomienda a las entidades públicas pertinentes que realicen una recopilación y clasificación de los estudios realizados con el fin de que éstos se encuentren completos y disponibles para futuros proyectos. Asimismo, los planos actuales del trazado de las redes de alcantarillado requieren una actualización continua para que la información que éstos presenten sea clara y precisa.

Es sumamente importante que en trabajos de redes de alcantarillado que estén basados en estudios previos y que se desee obtener estudios actuales, se recopile anticipadamente toda la información necesaria en cuanto a metodología de cálculo ya que al seguir el mismo procedimiento se obtienen datos que se ajustan de una mejor manera al diseño con el que los colectores fueron construidos y de esta manera sería válido comparar la información obtenida al final del proyecto.

En el caso de estudios comparativos es recomendable regirse a las normas vigentes que se tengan disponibles, sin descuidar las normas que se utilizaron anteriormente

con el fin de que el resultado obtenido sea consecuente a los métodos y a las bases de diseño preliminares.

Finalmente, por medio de este proyecto se promueve a que ETAPA realice una evaluación hidráulica de los colectores en la cual involucre los nuevos caudales obtenidos con el propósito de recalcular las dimensiones de los mismos.

Debido al sobredimensionamiento de los colectores de las calles Arirumba e Imbabura, no se necesita realizar ningún cambio en cuanto a la estructura de los mismos, sin embargo, se debe tener muy presente que estas estructuras necesitan mantenimiento, debido a que en su interior se depositan sedimentos; dentro de lo que confiere al hormigón, este debe ser restituido debido al proceso de erosión que presenta tanto en las paredes como en la losa superior e inferior de los colectores.

Finalmente, por medio de este proyecto se promueve a que la empresa pública ETAPA EP., realice una evaluación hidráulica de los diversos colectores de la ciudad de Cuenca, con el propósito de comprobar si se necesita una reestructuración de su infraestructura.



Referencias

- (2.1) ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS RACIONAL AMERICANO E ITALIANO PARA EL CÁLCULO DE ALCANTARILLADOS, Rafael Estrella et. Al, 1971, pág. 19.
- (2.2) UNITED NATIONS POPULATION DIVISION, 2001.
- (2.3) CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN, Parte IX Obras Sanitarias, 1992, pág. 271.
- (2.4) ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS RACIONAL AMERICANO E ITALIANO PARA EL CÁLCULO DE ALCANTARILLADOS, Rafael Estrella et. Al, 1971, pág. 5.
- (2.5) ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS RACIONAL AMERICANO E ITALIANO PARA EL CÁLCULO DE ALCANTARILLADOS, Rafael Estrella et. Al, 1971, pág. 18-19.
- (2.6) HIDROLOGIA (APUNTES EN CLASE), Fernando Oñate Valdivieso, <http://www.fronate.pro.ec/fronate/wp-content/media/hidrologia.pdf>, pág. 40.
- (2.7) TÉCNICA MODERNA DEL ALCANTARILLADO Y DE LAS INSTALACIONES DEPURADORAS: REDES DE ALCANTARILLADO, Vittorio Nanni, 1972, pág. 90.
- (2.8) NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO DE EPM, Primera Edición, Medellín, 2009, pág. 2-42.
- (2.9) CLOACAS Y DRENAJES, Teoría & Diseño, Simón Arocha R., pág. 39.
- (2.10) CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN, “Norma CO 10.7 – 601 Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Aguas Residuales en el Área Urbana”, 1992, pág. 269.
- (2.11) POBLACIÓN, SUPERFICIE Y DENSIDAD POBLACIONAL A NIVEL PARROQUIAL, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2010, pág. 1.
- (2.12) ETAPA: SUBGERENCIA DE INGENIERÍA Y PROYECTOS, http://www.etapa.net.ec/planesmaestros/bib_uep_etapall/CP_OBR_E3-



AP-REDESY/Memoria%20T%C3%A9cnica%20Redes%20Yanuncay.pdf,
pág. 9.

- (2.13)** CUENCA URBANA, Análisis del Proceso de Evolución Urbana de la Ciudad de Cuenca, Julio Vinicio Barrera et. Al, 2006-2008, pág. 210
- (2.14)** CUENCA URBANA, Análisis del Proceso de Evolución Urbana de la Ciudad de Cuenca, Julio Vinicio Barrera et. Al, 2006-2008, pág. 215
- (2.15)** CUENCA URBANA, Análisis del Proceso de Evolución Urbana de la Ciudad de Cuenca, Julio Vinicio Barrera et. Al, 2006-2008, pág. 220
- (2.16)** CUENCA URBANA, Análisis del Proceso de Evolución Urbana de la Ciudad de Cuenca, Julio Vinicio Barrera et. Al, 2006-2008, pág. 225
- (2.17)** ORDENANZAS MUNICIPALES DEL SUELO URBANO DE LA CIUDAD DE CUENCA, Determinaciones Para el Uso y Ocupación del Suelo Urbano, pág. 13.
- (3.1)** CLOACAS Y DRENAJES, Teoría & Diseño, Simón Arocha R., pág. 14.
- (4.1)** CLOACAS Y DRENAJES, Arocha S., pág. 14.



Bibliografía

- [1] Muñoz A. H., 1997, Saneamiento y Alcantarillado: Vertidos de Aguas Residuales, Quinta Edición, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Capítulos 2, 3 y 4.
- [2] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1986, Drenagem Urbana: Manual de Projeto, Terceira Edição, Associação dos Funcionários de CETESB, pág. 13-130.
- [3] Wilken P. S., 1978, Engenharia de Drenagem Superficial, Associação dos Funcionários de CETESB, pág. 73-98.
- [4] Villela S. M., Mattos A., 1975, Hidrologia Aplicada, McGraw-Hill, pág. 29-100.
- [5] Corbitt R. A., 2003, Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental, McGraw-Hill, Capítulo 7.
- [6] Código Ecuatoriano de la Construcción, Parte IX Obras Sanitarias, CO 10.07-601, Normas Para el Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 100 Habitantes, Octava Parte (VIII) Sistemas de Alcantarillado, pág. 263-289.
- [7] Chow V. T., Maidment D. R., Mays, L. W., 1994, Hidrología Aplicada, McGraw-Hill Interamericana S. A.
- [8] Wohl E., 2000, Mountain Rivers, American Geophysical Union.
- [9] Haan C. T., Barfield B. J., Hayes J. C., 1994, Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments, Academic Press INC.
- [10] Digman S. L., 1994, Physical Hydrology, Macmillan College Publishing Company.
- [11] Netto A., Álvarez G. A., 1982, Manual de Hidráulica Volumen I, Edgar Blucher Ltda.
- [12] Netto A., Álvarez G. A., 1982, Manual de Hidráulica Volumen II, Edgar Blucher Ltda.
- [13] Arocha S., 1980, Cloacas y Drenajes, Editorial Vega.

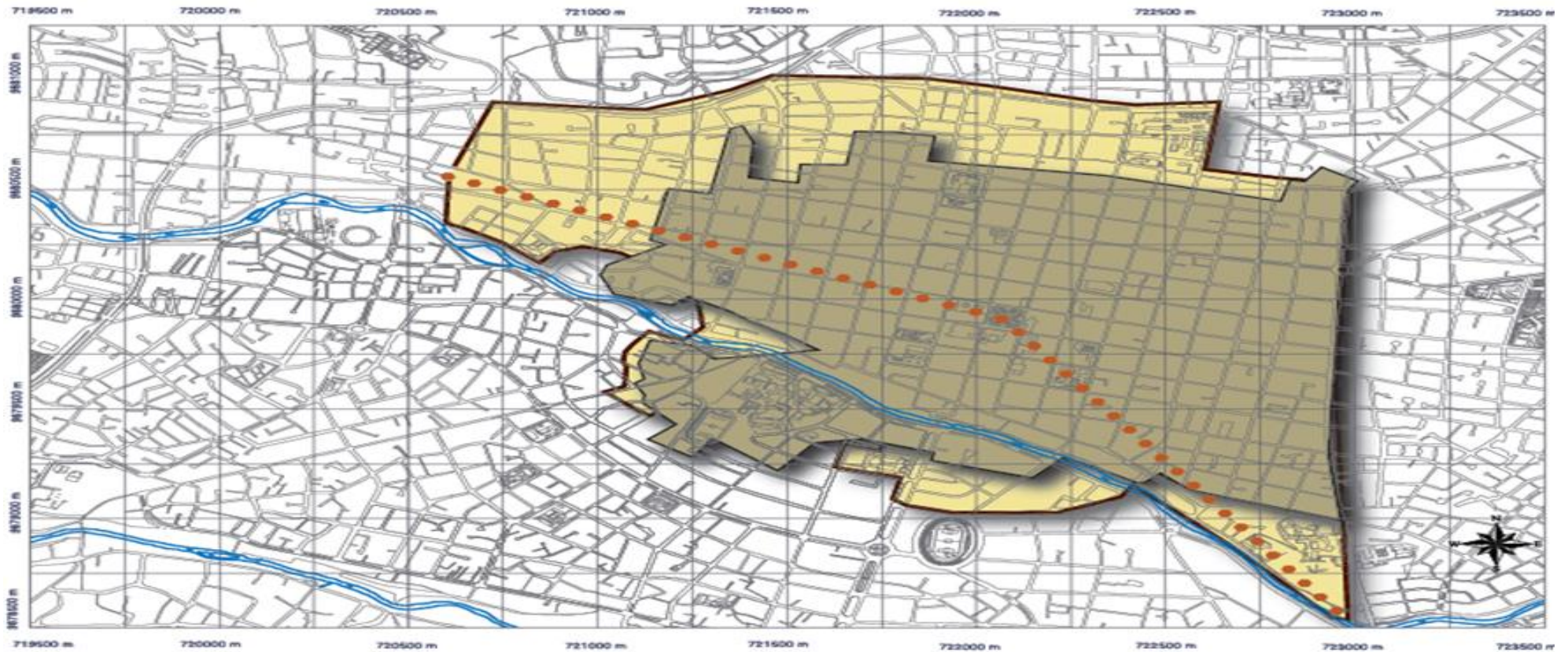


- [14] García Haba E., 2011, Control de Escorrentías Urbanas Mediante Pavimentos Permeables: Aplicación en Climas Mediterráneos, Universitat Politècnica de Valencia.



- Anexo No. 2 Crecimiento de Cuenca 1949 – 1963.**
- Anexo No. 3 Crecimiento de Cuenca 1963 – 1974.**
- Anexo No. 4 Crecimiento de Cuenca 1974 – 1984.**
- Anexo No. 5 Crecimiento de Cuenca 1984 – 1995.**
- Anexo No. 6 Plano de Subcuenca Pluvial y Áreas de Igual Impermeabilidad – 2015 en 1986.**
- Anexo No. 7 Plano de Tipos de Sistemas de Alcantarillado para la Ciudad de Cuenca en 1986.**
- Anexo No. 8 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Cuenca Aeropuerto del Año 2008.**
- Anexo No. 9 Plano de Interceptores y Alternativas Existentes para la Ciudad de Cuenca en 1986.**
- Anexo No. 10 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 1985.**
- Anexo No. 11 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 1985.**
- Anexo No. 12 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 2010.**
- Anexo No. 13 Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 2010.**
- Anexo No. 14 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 1985.**
- Anexo No. 15 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 1985.**
- Anexo No. 16 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 2010.**
- Anexo No. 17 Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 2010.**
- Anexo No. 18 Plano de Proyección Futura de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba.**
- Anexo No. 19 Plano de Proyección Futura de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura.**
- Anexo No. 20 Plano de Sub-áreas Tributarias y Trazado de la Red de Alcantarillado del Colector de la Calle Arirumba.**
- Anexo No. 21 Plano de Sub-áreas Tributarias y Trazado de la Red de Alcantarillado del Colector de la Calle Imbabura.**

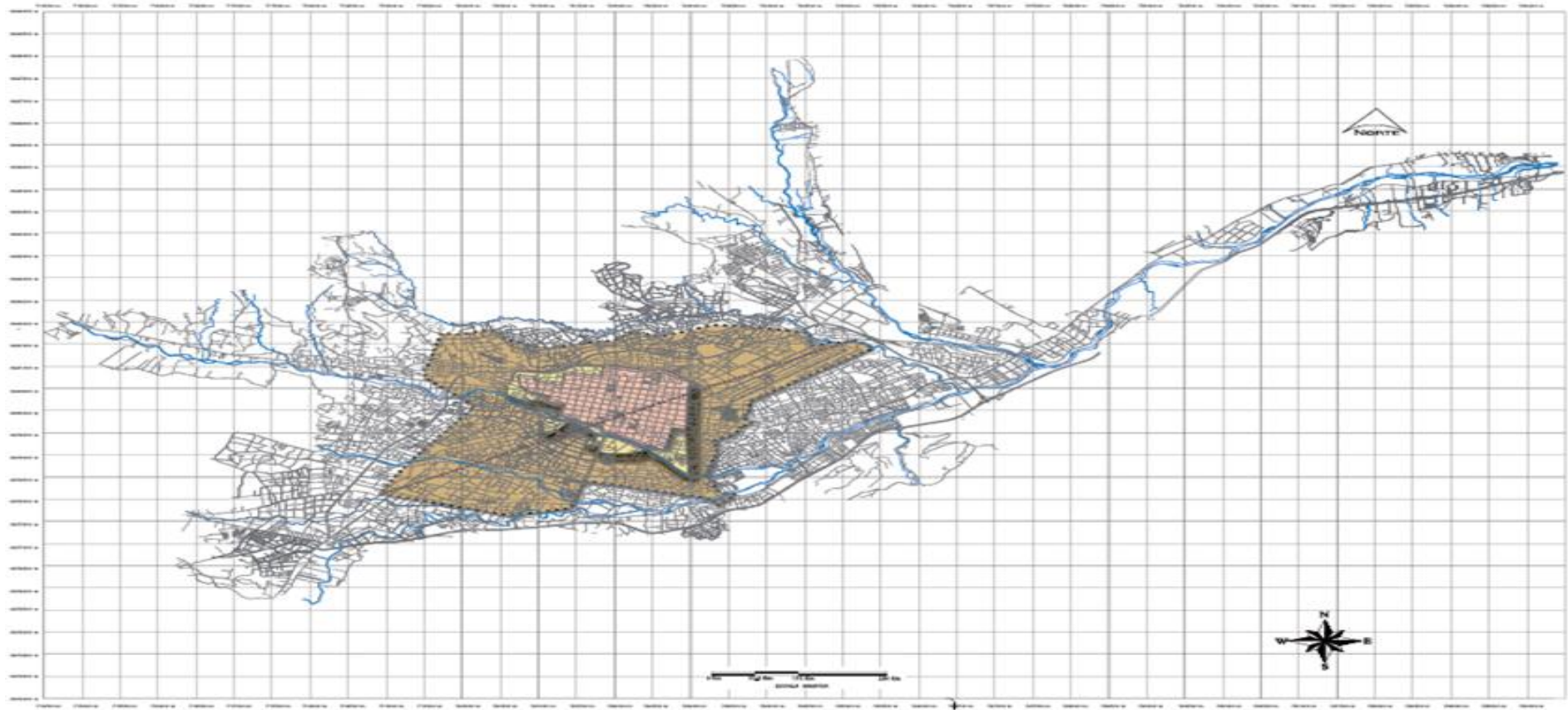
Anexo No. 1. Crecimiento de Cuenca 1910 – 1949.



Fuente: CUENCA URBANA, *Urbanismo y Planificación Territorial*, Barrera J., 2006-2008.



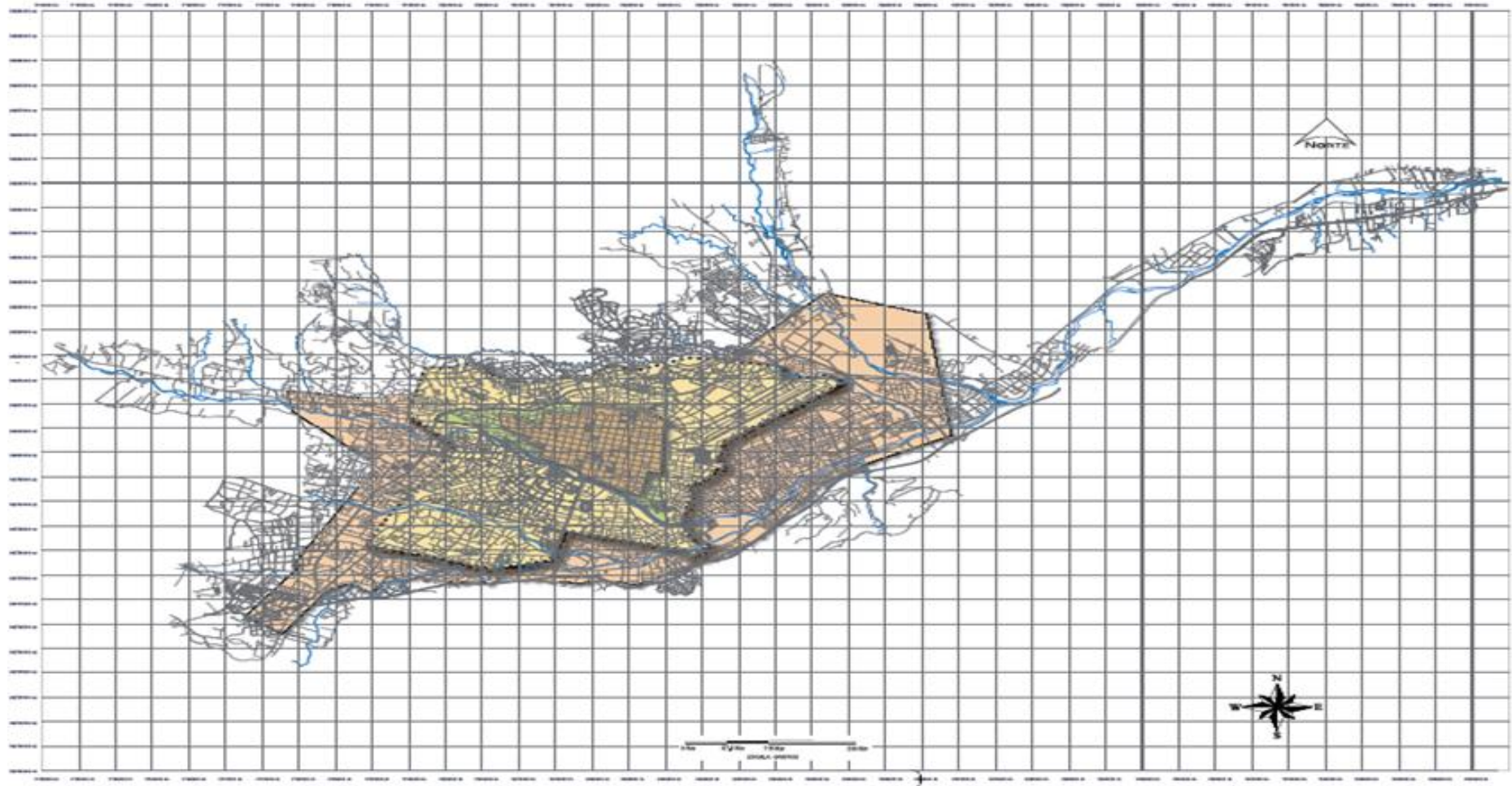
Anexo No. 2. Crecimiento de Cuenca 1949 – 1963.



Fuente: CUENCA URBANA, Urbanismo y Planificación Territorial, Barrera J., 2006-2008.



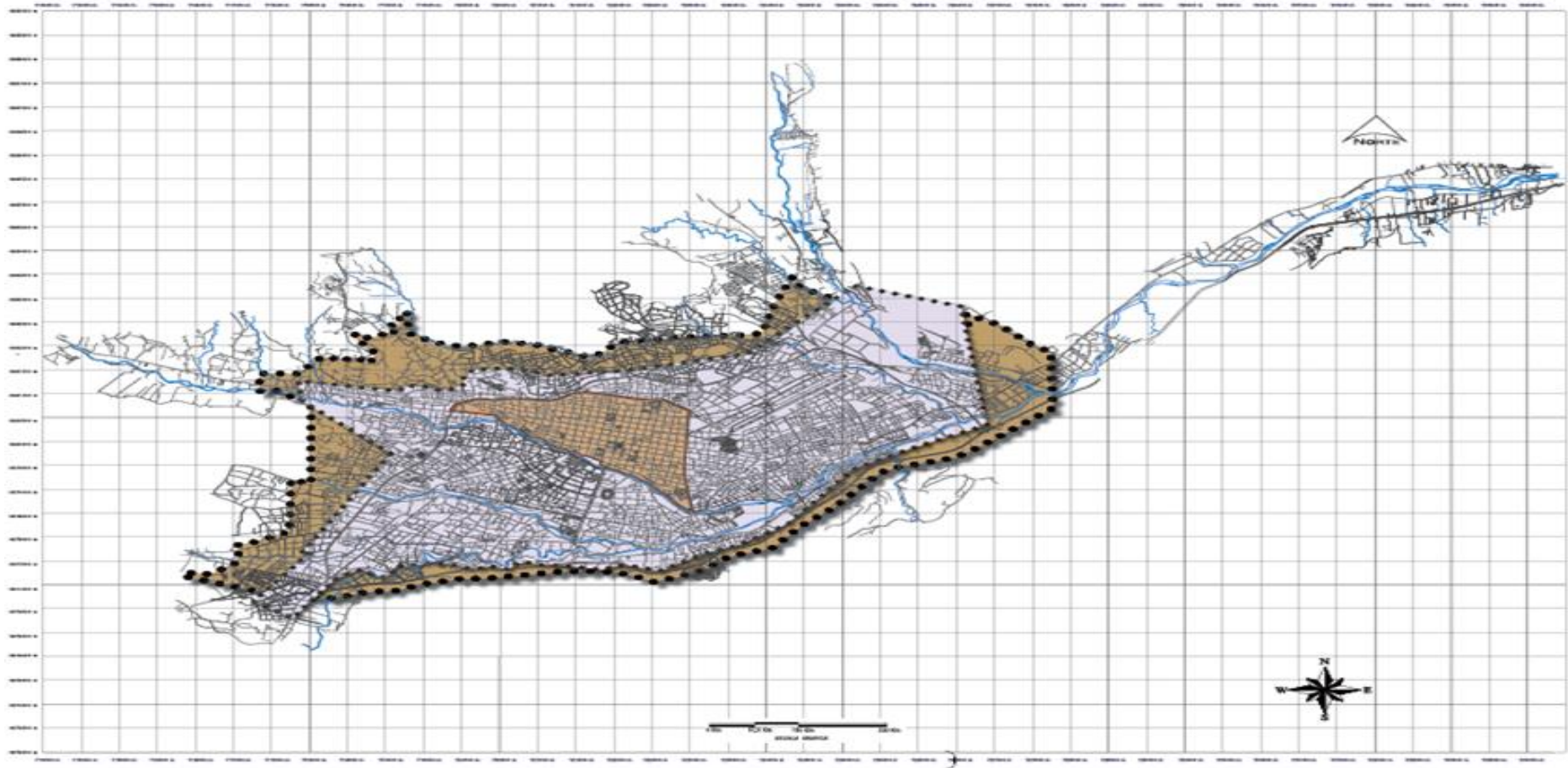
Anexo No. 3. Crecimiento de Cuenca 1963-1974.



Fuente: CUENCA URBANA, Urbanismo y Planificación Territorial, Barrera J., 2006-2008.



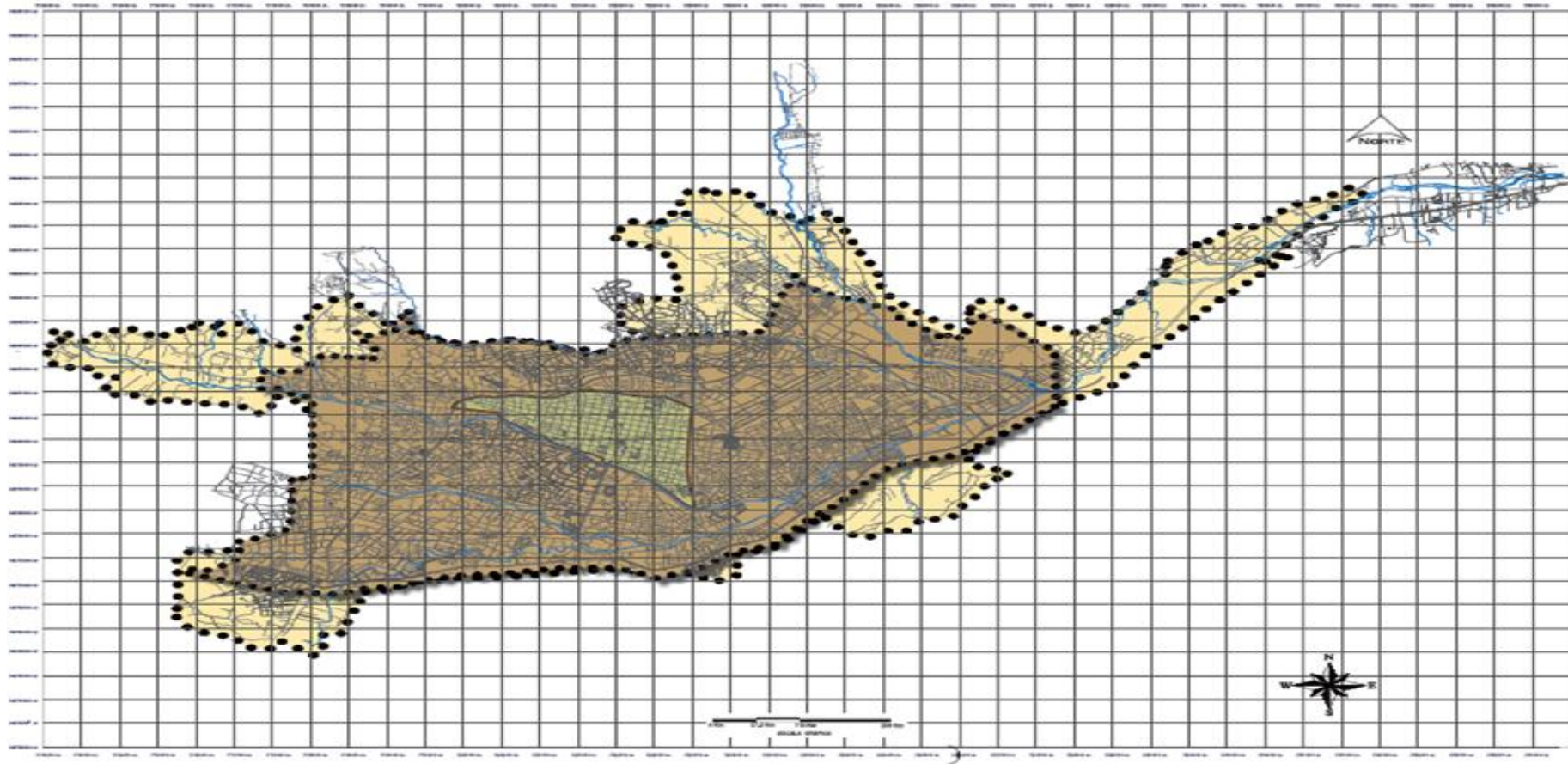
Anexo No. 4. Crecimiento de Cuenca 1974 – 1984.



Fuente: CUENCA URBANA, Urbanismo y Planificación Territorial, Barrera J., 2006-2008.



Anexo No. 5. Crecimiento de Cuenca 1984 – 1995.



Fuente: CUENCA URBANA, Urbanismo y Planificación Territorial, Barrera J., 2006-2008.



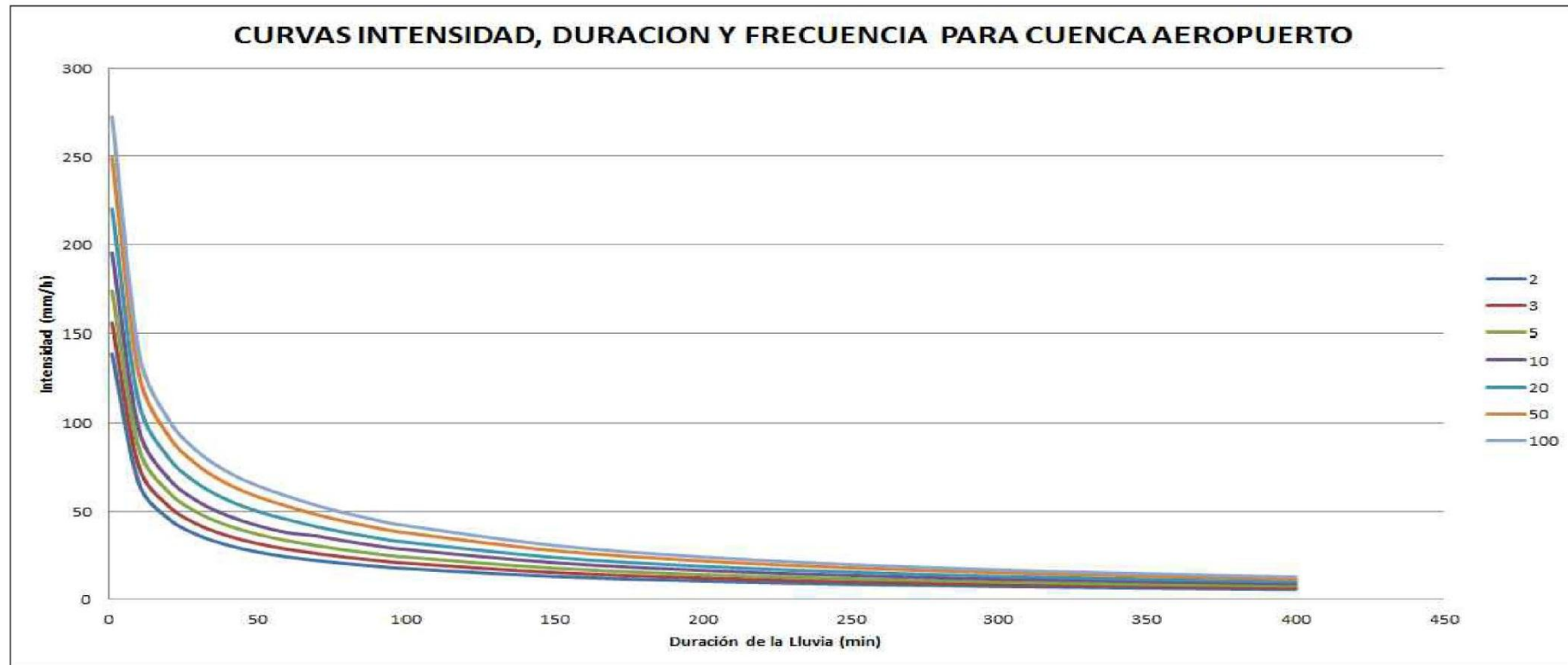
Autoras: María José Daza Orellana, Paula Andrea Pérez León



Plano de Tipos de Sistemas de Alcantarillado para la Ciudad de Cuenca en 1986.

Fuente: ETAPA

ANEXO No. 7



Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia de la Estación Cuenca Aeropuerto del Año 2008.

ANEXO No. 8

Fuente: ETAPA



Plano de Interceptores y Alternativas Existentes para la Ciudad de Cuenca en 1986

ANEXO No. 9

Fuente: ETAPA



Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 1985.
Fuente: IGM, Instituto Geográfico Militar

ANEXO No. 10

Autoras: María José Daza Orellana, Paula Andrea Pérez León



Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 1985.

ANEXO No. 11

Fuente: IGM, Instituto Geográfico Militar

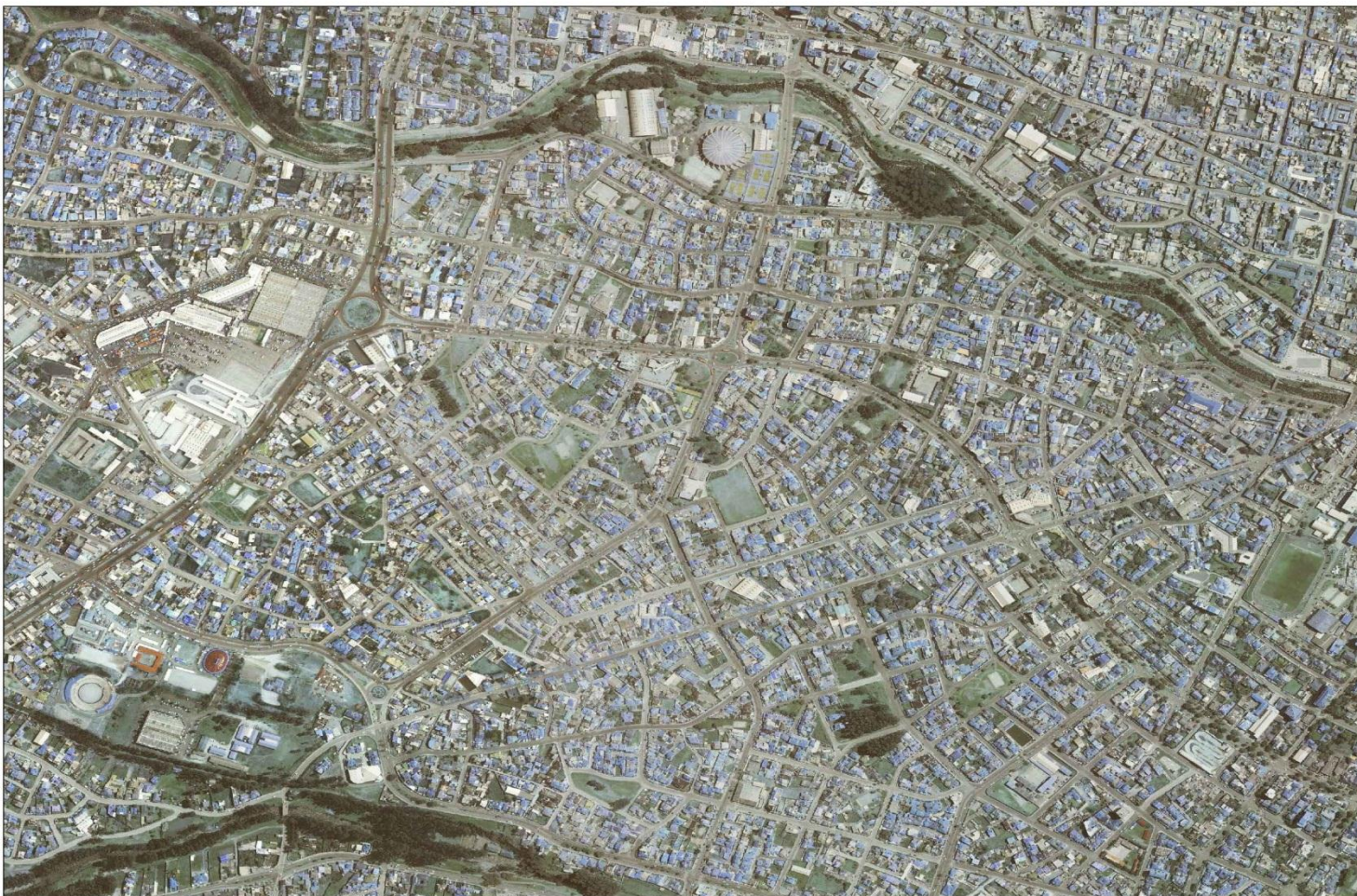


Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Arirumba del Año 2010.

ANEXO No. 12

Fuente: ETAPA

Autoras: María José Daza Orellana, Paula Andrea Pérez León



Levantamiento Aerofotogramétrico del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 2010.

ANEXO No. 13

Fuente: ETAPA



SIMBOLOGÍA POR ÁREA DELIMITADA

<input checked="" type="checkbox"/>	Superficie no Pavimentada
<input checked="" type="checkbox"/>	Enripiados (Lomas, cerros)
<input checked="" type="checkbox"/>	Cubierta con Teja Ordinaria o Impervimentada
<input checked="" type="checkbox"/>	Plaguies y Jardines
<input checked="" type="checkbox"/>	Manizanos
<input type="checkbox"/>	Subsueño

Área de la Subsueño = 92.14 ha

Número de la Subsueño: 19

Área de Manzanos = 75.63 ha - 31.57%.

Área de Cubiertas de Teja = 26.09 ha - 31.57%.

Área de Plaguies y jardines = 38.58 ha - 41.87%.

Área de Eventos de Hórrido = 7.96 ha - 8.64%.

Área de Pavimentos Asfálticos = 13.70 ha = 14.87%.

Área de Superficie no Pavimentada = 14 ha = 1.20%.

Área de Enripiados = 1.67 ha = 1.81%.

ANEXO No. 14							
Exento 1-3750	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">FECHA:</td> <td style="width: 40%; text-align: right;">M.D.C. Y.Y.Y.</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE COPIA:</td> <td style="text-align: right;">M.D.C. Y.Y.Y.</td> </tr> <tr> <td>REVISOR:</td> <td style="text-align: right;">D.E.A.</td> </tr> </table>	FECHA:	M.D.C. Y.Y.Y.	FECHA DE COPIA:	M.D.C. Y.Y.Y.	REVISOR:	D.E.A.
FECHA:	M.D.C. Y.Y.Y.						
FECHA DE COPIA:	M.D.C. Y.Y.Y.						
REVISOR:	D.E.A.						
Nota: (ver Copia Original) Fecha: Octubre 1993 (Luz)							
CONTENIDO: ESTADO ACTUAL							
Plano de Ucos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Coleccionador de la Calle Anónima del Año 1985.							
CIENCIA / OCTUBRE / 2013							
LÁMINA: 1/1							



SIMBOLOGÍA POR ÁREA DELIMITADA	
	Superficie de Pavimentación
	Expedientes Locales Ordinarios
	Contorno con Tapa Ordinaria e Impermeabilización
	Puentes y Jardines
	Manzanas
	Subsecciones

Área de la Subsección = 70.70 ha
Número de la Subsección: 28
Área de Manzanas = 57.81 ha
Área de Cobertura de Teja = 20.00 ha = 28.00%
Área de Puentes y Jardines = 0.14 ha = 0.14%
Área de Pavimentación de Barridos = 1.78 ha = 2.52%
Área de Pavimentación Asfáltica = 11.12 ha = 15.71%
Área de Superficie no Pavimentada = 0.38 ha = 0.52%
Área de Expedientes = 1.78 ha = 2.52%

ANEXO No. 15	
Escala: 1:3750	
	autor: M.S.D. y P.F.L.
	coordinación: M.S.D. y P.F.L.
	revisión: M.S.D.
	Fecha: 2013-10-01
CONTENIDO: ESTADO ACTUAL	
Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura del Año 1985.	
CUENCA / OCTUBRE / 2013	
LÁMINA:	2/





SIMBOLOGÍA POR ÁREA DELIMITADA	
	Cubiertas con Tapa Ondulante e impermeabilización
	Pavimento y jardines
	Materiales
	Subsuelo

Área de la Subcomunidad: 10.79 ha	
Número de la Subcomunidad: 28	
Área de Muestreo: 54.71 ha	
Área de Cultivos de Tapa: 27.87 ha = 50.38%	
Área de Pavimento y jardines: 20.12 ha = 36.77%	
Área de pavimento de Hormigón: 6.12 ha = 8.64%	
Área de Pavimento Asfáltico: 18.08 ha = 22.71%	

ANEXO No. 17			
<table border="1"> <tr> <td>Escala: 1:3750</td> <td> DISEÑO: M.D.S. Y P.P.L. DISEÑADORA: M.D.S. Y P.P.L. REVISOR: D.M.R. </td> </tr> </table>	Escala: 1:3750	DISEÑO: M.D.S. Y P.P.L. DISEÑADORA: M.D.S. Y P.P.L. REVISOR: D.M.R.	María José Daza Orellana Paula Andrea Pérez León
Escala: 1:3750	DISEÑO: M.D.S. Y P.P.L. DISEÑADORA: M.D.S. Y P.P.L. REVISOR: D.M.R.		
CONTENIDO: ESTADO ACTUAL Plano de Usos y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Intabulara del Año 2010.	CUENCA / OCTUBRE / 2013 LÁMINA: 4/s		

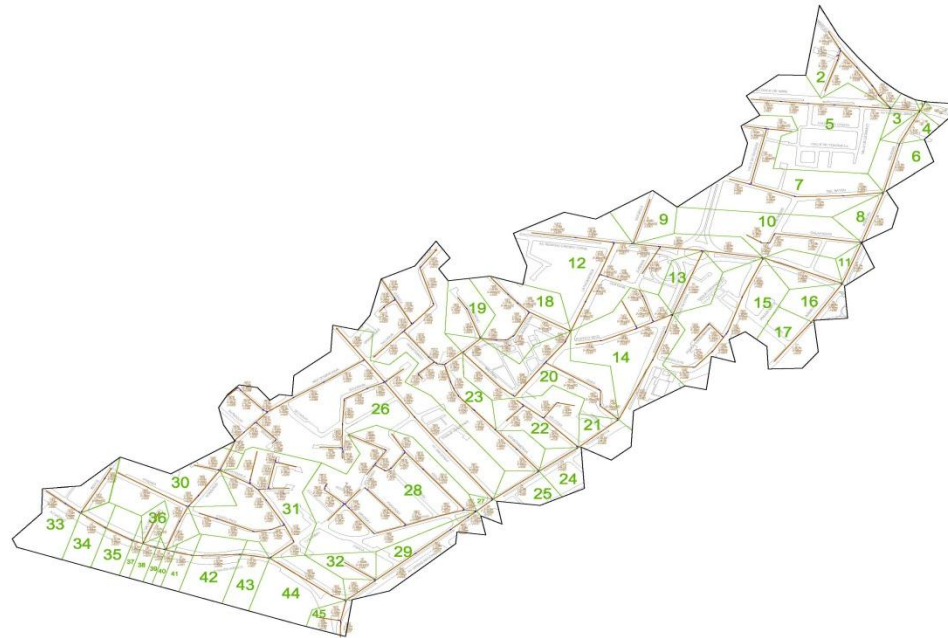




SIMBOLOGÍA POR ÁREA DELIMITADA	
	Paseos Esplanadas
	Reservación para Manzanales
	Callejero con Tapa Ondulada e Impermeabilizada
	Parques y Jardines
	Manzanas
	Subsector
Área de la Subsector = 10.75 ha	
Número de la Subsector = 28	
Área Manzanales = 54.71 ha	
Área de Callejero de Tapa = 57.52 ha = 53.14%	
Área de Parques y Jardines = 10.81 ha = 10.27%	
Área de Pasarelas = 1.57 ha = 0.01%	
Área de Pasarelas Asfaltadas = 18.08 ha = 22.71%	

ANEXO No. 19	
Escala: 1:3750	
	Fecha: M.D.C. y P.A.L.
	Elaboración: M.D.C. y P.A.L.
	Revisión: S.A.
Mapa de la Subsector	
Proyecto de Urbanización	
CONTENIDO: ESTADO ACTUAL	
Plano de Proyección Futura de Uso y Ocupación del Suelo del Área Tributaria al Colector de la Calle Imbabura.	
CUENCA / OCTUBRE / 2013	
LÁMINA:	6/s





SIMBOLOGÍA POR ÁREA DELIMITADA	
	Dirección del Flujo
	Trazado de las Colecciones
	Puntos de Recepción
	Línea y Número de las Sub-áreas
	Manzanas
	Sub-áreas
Área de la Sub-área = 58.44 ha	

ANEXO No. 21	
Escala: 1:3750	USUO: M.D. Y F.A.L. INTERVENCIÓN: M.D. Y F.A.L. FECHA: F.A.L.
CONTENIDO: ESTADO ACTUAL Plano de Sub-áreas Tributarias y Trazado de la Red de Adecuamiento del Colector de la Calle Imbabura.	
CUBRICA / OCTUBRE / 2013	
LÁMINA:	8/8